

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS
UTILIZANDO REGISTROS ELÉCTRICOS EN EL
YACIMIENTO Zn-Pb TIPO MISSISSIPPI VALLEY SAN VICENTE,
JUNÍN – PERÚ

PRESENTADA POR
KATLEEN VENECIA IPANAQUE MASIAS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

Piura, Perú

2014

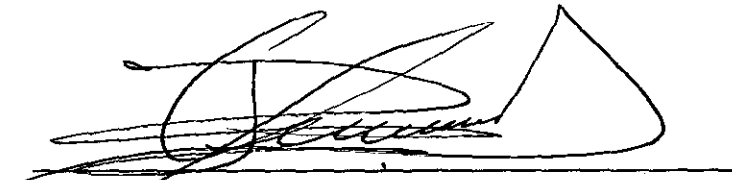
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

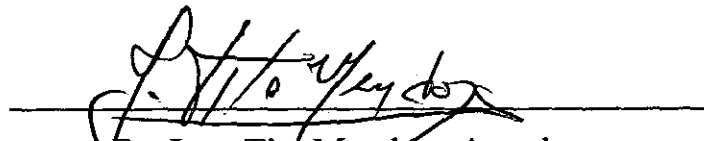


**SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS UTILIZANDO
REGISTROS ELÉCTRICOS EN EL YACIMIENTO Zn-Pb TIPO MISSISSIPPI
VALLEY SAN VICENTE, JUNIN – PERÚ**

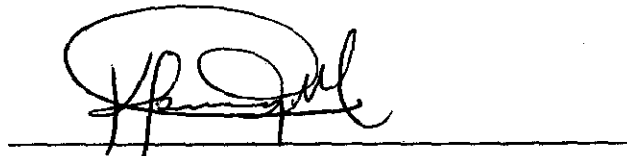
ASESOR:


Dr. Renato Umeres Cáceres

CO-ASESOR:


Dr. Juan Tito Mendoza Aranda

PRESENTADA POR:


Br. Katleen Venecia Ipanaque Masias

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA



**SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS
UTILIZANDO REGISTROS ELECTRICOS EN EL YACIMIENTO
Zn-Pb TIPO MISSISSIPPI VALLEY SAN VICENTE, JUNIN - PERÚ**

Ing. JOSÉ COBEÑA URBINA
PRESIDENTE

Ing. ARTURO CORDOVA AGUILAR M.Sc.
SECRETARIO

Ing. MANUEL RODRIGUEZ MURILLO
VOCAL

PIURA – PERU
2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

DECANATO

"AÑO DE LA PROMOCIÓN DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y DEL COMPROMISO CLIMATICO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 006-D-14, de fecha once de diciembre de dos mil catorce, que suscriben, reunidos el día **lunes veintidós de diciembre de dos mil catorce** a horas **11:00 a.m.**, en el aula del PROMAINA de la Facultad de Ingeniería de Minas, para la sustentación de la Tesis titulada **"SEDIMENTACIÓN Y ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS UTILIZANDO REGISTROS ELÉCTRICOS EN EL YACIMIENTO Zn-Pb TIPO MISSISSIPPI VALLEY SAN VICENTE, JUNIN- PERÚ"**, conducida por la señorita Bachiller en Ingeniería Geológica **IPANAQUE MASÍAS KATLEEN VENECIA**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

APROBADO POR EXCELENCIA

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA GEÓLOGA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 22 de diciembre de 2014.

ING° JOSÉ COBENA URBINA
Presidente del Jurado Calificador

ING° ARTURO CORDOVA AGUILAR M.Sc.
Secretario del Jurado Calificador

ING° MANUEL RODRÍGUEZ MURILLO
Vocal del Jurado Calificador.

*A mis queridos padres, Isabel y Oscar,
por ser el pilar fundamental en todo lo que soy,
en toda mi educación, tanto académica, como personal,
por su apoyo incondicional perfectamente mantenido
a través del tiempo y por inculcar en mi
perseverancia y constancia para salir adelante.
Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por haberme dado la fortaleza necesaria para no decaer y lograr ésta meta, gracias Señor por hacerme sentir tu maravillosa presencia en todos los aspectos de mi vida y por darme el privilegio de tener una pequeña pero unida familia, por quienes daría todo. Gracias Mamá por tus cuidados y oraciones, gracias Papá por tus enseñanzas de coraje y lucha constante; y gracias hermana por hacerme sentir afortunada y orgullosa de tenerte en mi vida, y por enseñarme que a pesar de las caídas que podamos tener en la vida siempre hay un nuevo y mejor comienzo.

Expreso mi más profundo agradecimiento al Dr. Juan Tito Mendoza, de la Línea Petroleum Consulting de Weatherford del Perú, por el apoyo incondicional brindado, sus constantes palabras de aliento, consejos y aportes técnicos me impulsaron y guiaron durante el desarrollo de la investigación. Siempre tendré presente sus palabras motivadoras Ing. Tito.

De la misma manera manifiesto mi gratitud hacia el Gerente General de SIMSA, el Ing. Luis Seijas, quien en conjunto con el Departamento de Geología de la compañía, en representación del Ing. Román Tejada, me brindaron las facilidades para acceder a las instalaciones de la mina, las mismas que fueron guiadas bajo la supervisión del Ing. Luis Fuentes y del equipo de trabajo de la Nucleoteca de la mina, gracias a todos ustedes por las atenciones hacia mi persona.

Así mismo, mi especial agradecimiento a la Gerencia de Wireline de Weatherford del Perú, representada por el Ing. Carlos Méndez, por permitirme acceder a la información de

los Registros Eléctricos que obtuvo su equipo de trabajo en San Vicente, información clave para la realización del estudio. Así como a Rafael Osorio de Línea Petroleum Consulting, por el apoyo brindado en el procesamiento de la data de los registros eléctricos.

Así también agradezco a la Línea Surface Logging Systems de Weatherford del Perú, área en la que me desempeño actualmente y en la que inicié mi formación como Geóloga Mudlogger, los conocimientos adquiridos en la Línea me valieron de mucho para la realización del estudio.

RESUMEN

La adquisición de registros geofísicos en las perforaciones diamantinas de seis pozos en los depósitos mineralizados tipo Mississippi Valley de la mina San Vicente del Perú Central, ha dado una oportunidad para analizar y entender la respuesta de las propiedades físicas de radioactividad, resistividad y densidad. El estudio comprende la descripción sedimentológica de los carbonatos y la interpretación de los registros de radioactividad como indicador de facies de aumento de la profundización de agua (aumento de radioactividad hacia arriba), seguido de facies de disminución de la profundización de agua (disminución de la radioactividad hacia arriba). Se han identificado tres superficies de inundación máxima (SIM) representados por lodolitas calcáreas que corresponden a máximos valores de radioactividad y mínimos valores de densidad. Sucesivamente estas superficies dan inicio al sistema estratigráfico Highstand. El sistema Highstand 1 posee litología dolomita de grano fino que no favoreció a la mineralización. El sistema Highstand 2 inicia en ambiente bituminoso que cambia rápidamente a dolomita ooide donde se formó un cuerpo mineralizado de esfalerita-galena-pirita de 10m de espesor. En el Highstand 3 se dieron las condiciones para la precipitación de pirita. La paleogeografía indica la formación de bancos de plataforma en las inmediaciones de los pozos U-937 y U-938 y otro en el pozo U-941. Ambientes de mayor profundidad de agua correspondiente al margen de plataforma con litofacies de caliza y dolomita poco permeable que impidió el desarrollo del banco de plataforma en los pozos U-913, U-895 y U-905. Dado que los eventos de mineralización fueron identificados en la base del sistema Highstand 2, se realizó un análisis estadístico de las dos electrosecuencias identificadas en dicho sistema

(Electrosecuencia A y B), el cual integra las variables de Radioactividad, Resistividad y Densidad obtenidas en los Registros eléctricos, permitiendo establecer relaciones entre las mismas y de manera individual, lo cual se corroboró con las facies identificadas. La integración de los procesos interpretativos empleados en la investigación permitió demostrar el valor agregado de los registros geofísicos de pozo en el hallazgo de zonas mineralizadas en San Vicente, estableciendo una valiosa herramienta exploratoria.

ÍNDICE

RESUMEN

CAPÍTULO I	10
GENERALIDADES	10
1.1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.3. ASPECTOS GEOGRÁFICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
1.3.1. UBICACIÓN Y ACCESO.....	12
1.3.2. GEOGRAFÍA	14
1.3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	14
1.4. ANTECEDENTES.....	14
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	15
 CAPÍTULO II.....	 18
GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL.....	18
2.1. ESTRATIGRAFÍA.....	18
2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	22
 CAPÍTULO III.....	 25
EL YACIMIENTO TIPO MISSISSIPPI VALLEY (MVT).....	25
3.1. GENERALIDADES DE LOS YACIMIENTOS TIPO MISSISSIPPI VALLEY EN EL MUNDO	25
3.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	28
3.1.2. MARCO TECTÓNICO	28
3.2. EL YACIMIENTO Zn – Pb TIPO MVT EN SAN VICENTE	29
3.2.1. FLUIDOS MINERALIZANTES	30
3.2.2. TIPOS Y CONTROLES DE MINERALIZACIÓN	31
3.2.3. ENTRAMPAMIENTO	33

CAPÍTULO IV.....	34
ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS Y SEDIMENTACIÓN EN CARBONATOS	34
4.1 LAS ROCAS CARBONATADAS: ORIGEN, COMPONENTES Y CLASIFICACIÓN	35
4.2. DEFINICIÓN DE SECUENCIA Y FACTORES QUE LA CONTROLAN	
4.2.1. EUSTASIA.....	39
4.2.2. TECTÓNICA.....	39
4.2.3. APORTE SEDIMENTARIO - CONTROLES EN LA PRODUCCIÓN DE CARBONATOS.....	40
4.3. SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS CLAVES	42
4.3.1. LÍMITE DE SECUENCIA	43
4.3.2. SUPERFICIE TRANSGRESIVA (ST).....	43
4.3.3. SUPERFICIE DE INUNDACIÓN MÁXIMA (SIM)	43
4.4. LOS SISTEMAS ENCADENADOS (SYSTEMS TRACTS) EN LAS ROCAS CARBONATADAS DEL GRUPO PUCARÁ.....	44
4.4.1. SISTEMA ENCADENADO LOWSTAND.....	45
4.4.2. SISTEMA ENCADENADO TRANSGRESIVO	45
4.4.3. SISTEMA ENCADENADO HIGHSTAND (SISTEMA DE NIVEL ALTO).....	46
4.5. FACIES	48
4.6. EL PERFIL DEPOSITACIONAL, EL CINTURÓN DE FACIES Y LOS AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN.....	54
 CAPÍTULO V	 60
TECNOLOGÍA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO.....	60
5.1. REGISTRO DE RADIOACTIVIDAD (GAMMA RAY)	60
5.2. REGISTRO DE DENSIDAD	62
5.3. REGISTRO DE RESISTIVIDAD	63

CAPÍTULO VI.....	65
DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE SEIS POZOS DEL YACIMIENTO UNCUSH DE LA MINA SAN VICENTE	65
6.1. BASE DE DATOS PARA LA DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA	65
6.2. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL.....	69
6.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS CLAVES.....	69
6.4. DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS.....	70
 CAPÍTULO VII	87
ELECTROFACIES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	87
7.1. CALIBRACIÓN NÚCLEO-REGISTRO	87
7.2. ELECTROFACIES Y ELECTROSECUENCIA.....	87
7.3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ELECTROFACIES Y ELECTROSECUENCIAS EN EL SISTEMA HIGHSTAND 2	88
7.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	106
DIAGRAMAS DE FRECUENCIA DE LOS REGISTROS DE RADIOACTIVIDAD EN LA SECUENCIA 2	107
CROSS-PLOTS DE LOS REGISTROS DE RADIOACTIVIDAD- DENSIDAD EN EL SISTEMA HIGHSTAND 2	109
 CAPÍTULO VIII.....	118
IMPPLICACIONES GEOLÓGICAS DE LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS ASISTIDOS CON LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO.....	118
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación y acceso al área de estudio en el Yacimiento Minero San Vicente, Junín - Perú.	13
Figura 1.2. Ubicación de los pozos en el área de estudio. Zona Uncush Sur Unidad San Vicente.....	13
Figura 2.1. Columna Estratigráfica de San Vicente. (SIMSA – Geología).....	21
Figura 2.2. Modelo estructural del distrito minero de San Vicente.....	22
Figura 3.1. Distribución Global de los Depósitos MVT.....	26
Figura 3.2. Depósitos MVT en el Perú.....	27
Figura 3.3. Horizontes Mineralizados en el Yacimiento San Vicente.....	29
Figura 3.4. Fluidos Mineralizantes en el Yacimiento San Vicente.	31
Figura 3.5. Tipos de Mineralización en el Yacimiento San Vicente.....	33
Figura 4.1. Clasificación de las rocas carbonatadas.....	37
Figura. 4.2. Factores controladores de la Estratigrafía de Secuencias	39
Figura 4.3. Controles eustáticos en la depositación	39
Figura 4.4. Espacio de acomodación.....	40
Figura 4.5. Afloramiento de las montañas de Sierra Diablo del Oeste de Texas mostrando límites de secuencia	43
Figura 4.6. Curva de cambios eustáticos.....	45
Figura 4.7. Sistema Encadenado Transgresivo.....	46
Figura 4.8. Sistema Encadenado Highstand.....	47
Figura 4.9. El estilo depositacional “Keep Up”	48

CAPÍTULO III

EL YACIMIENTO TIPO MISSISSIPPI VALLEY (MVT)

3.1. GENERALIDADES DE LOS YACIMIENTOS TIPO MISSISSIPPI VALLEY EN EL MUNDO

Los Yacimientos del tipo Valle del Mississippi (*Mississippi Valley-Type Deposits*), son depósitos de Pb-Zn que se encuentran alrededor del (Fig. 3.1), y que fueron descubiertos en la región del Valle del Río Mississippi en Estados Unidos. Leach y Sangster (1993), los describen como “*Depósitos de minerales epigenéticos precipitados a partir de densas salmueras de cuenca, depositados en secuencias carbonatadas de plataforma y que carecen de afinidades genéticas relacionadas a la actividad ígnea*”.

El origen de los Yacimientos MVT se explica mediante diversos modelos genéticos, sin embargo el mas aceptado es el de Mezcla, el cual define el transporte por separado de los metales y del Azufre (Beales, 1975), produciéndose la mineralización en el lugar donde ambos fluidos se mezclan.



Los Yacimientos MVT comprenden cuerpos de sulfuro esfalerita ZnS y Galena PbS, de carácter estratoligado, que rellenan espacios abiertos (cavernas de disolución y fracturas), cementan brechas de colapso, o reemplazan a rocas carbonatadas. Estos yacimientos se encuentran almacenados principalmente en dolomías y menos frecuentemente en calizas.

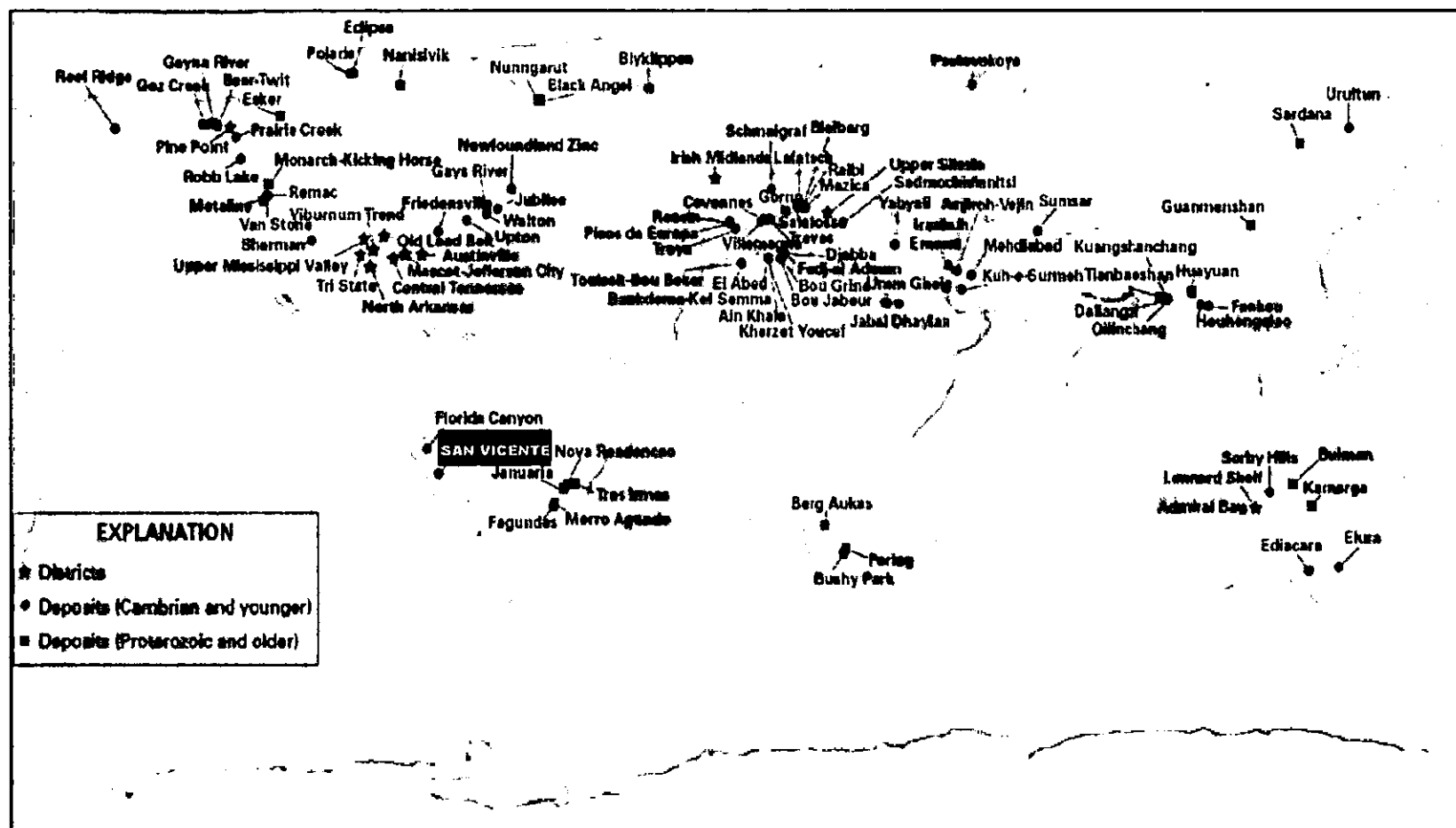


Figura. 3.1. Distribución Global de los Depósitos MVT (Leach, et al, 2010). En Perú el depósito más representativo es el Yacimiento San Vicente (San Ramón – Junín).

Los depósitos MVT fueron definidos originalmente para la mineralización de Zn-Pb, frecuentemente con pirita y/o marcasita. También es común la presencia de barita, fluorita y celestina originados mediante los mismos procesos geológicos.

En el Perú, este tipo de depósitos está representado principalmente por el Yacimiento San Vicente, seguido de los prospectos Shalipayco (Cerro de Pasco), Malpaso-Huallpachina (Junín), Bongara (Amazonas). (Fig. 3.3).

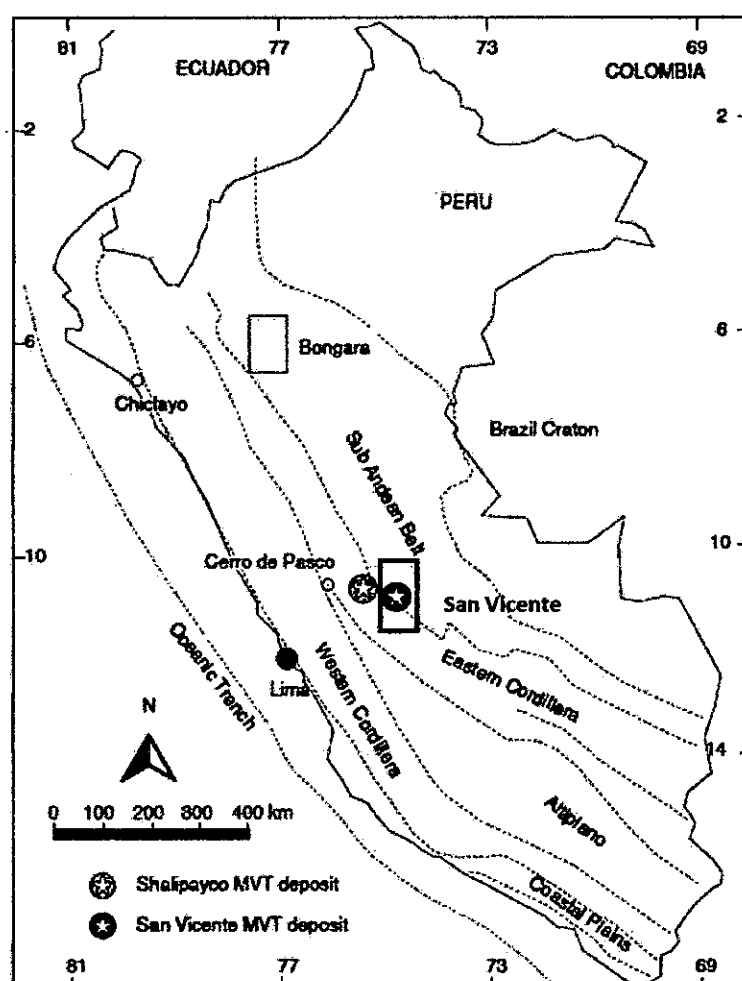


Figura. 3.2. Depósitos MVT en el Perú, destacando como principal el Yacimiento San Vicente (Junín – Perú).

3.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

A continuación se enumeran las características diagnosticas más importantes de los depósitos MVT (Ohle, 1959, Kisvaransayi, 1983, Leach et al 2005):

1. Son Yacimientos epigenéticos y estratoligados.
2. No están asociados con actividad ígnea.
3. Son almacenados principalmente en dolomitas y calizas, raramente en areniscas.
4. Ocurren en secuencias de plataformas carbonatadas, comúnmente en los flancos de las cuencas, sobre pilares tectónicos o arcos entre tales cuencas.
5. Las rocas carbonatadas que los contienen no presentan metamorfismo.
6. Los minerales que predominan son la esfalerita, galena, pirita, marcasita, dolomita y calcita, mientras que la barita y fluorita son escasas.
7. Muchos depósitos están en distritos que cubren cientos de kilómetros cuadrados; y algunos forman provincias metalogénicas.
8. Se formaron a profundidades someras (menos de 1.5 Km.) y a presiones que no exceden unos cientos de atmósferas.

3.1.2. MARCO TECTÓNICO

Tectónicamente, los yacimientos MVT se encuentran en rocas asociadas a plataformas carbonatadas de antepaís, comúnmente dolomitizadas, específicamente en los márgenes de las cuencas, sobre una roca antigua estable (carácter estratoligado).

3.2. EL YACIMIENTO Zn - Pb TIPO MVT EN SAN VICENTE

El principal depósito MVT en el Perú está representado por El yacimiento San Vicente (Fig. 3.3), ubicado en la ceja de Selva Central Peruana (Cordillera Subandina), en el Distrito de Vitoc, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín.

La mineralización principalmente es de sulfuros de Zinc (esfalerita), y en menor cantidad de sulfuros de plomo (Galena). La ganga está constituida principalmente de Dolomita y Calcita. Las unidades litológicas del Grupo Pucara son intercalaciones de unidades de dolomías con calizas de base a techo, las siguientes: Unidades basales (Contacto con el Grupo Mitu), Caliza porosa Basal, Dolomía San Judas, Caliza Neptuno, Dolomía San Vicente, Caliza Uncush, Dolomía Alfonso, Caliza Arcopunco y Dolomía Colca. Los tres principales horizontes mineralizados son Dolomía San Judas, Dolomía San Vicente y Dolomía Alfonso.

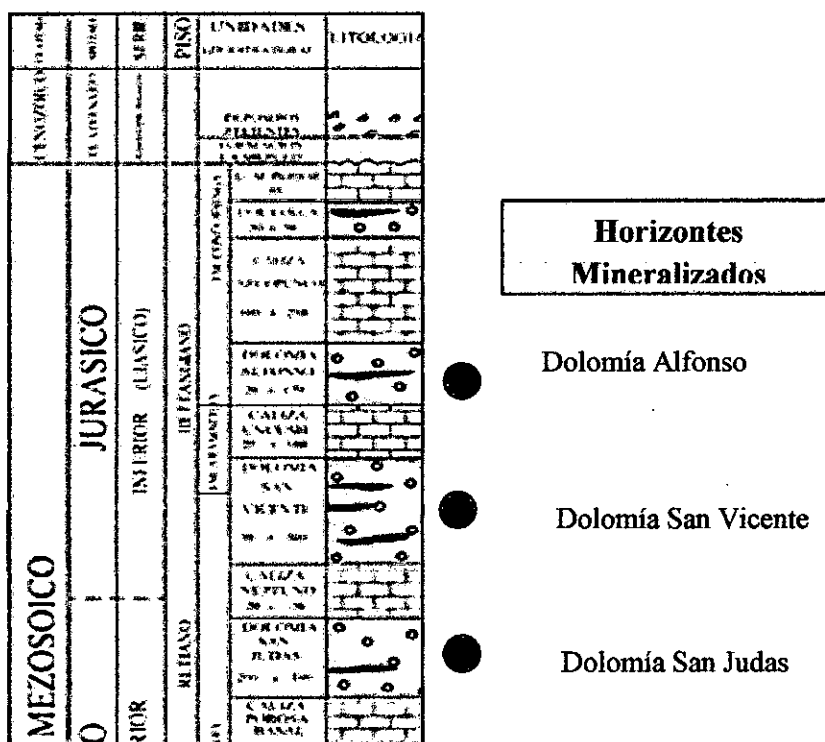


Figura. 3.3. Horizontes Mineralizados en el Yacimiento San Vicente.

Genéticamente, San Vicente es un depósito ubicado en rocas carbonatadas de edad Triásico superior-Jurásico inferior. A continuación las particularidades de la roca caja:

3.2.1. FLUIDOS MINERALIZANTES

Debido a las bajas temperaturas de formación, en San Vicente no hay alteración hidrotermal, es así que los fluidos que acompañan a la mineralización están representados principalmente por dolomita blanca WSD (White Sparry Dolomite) y dolomita gris GSD (Gray Sparry Dolomite), (Fig. 3.4). Estos fluidos sirvieron de catalizador para la cristalización de esfalerita y galena.

White Sparry Dolomite (WSD)

Es la dolomita en forma mineral de color blanca y textura esparítica que es parte del fluido mineralizante. No tiene contenido de materia orgánica, y se encuentra asociada a GSD y la calcita en algunos casos. Reacciona muy débilmente al ácido clorhídrico.

Gray Sparry Dolomite (GSD)

Es la variante de color gris de la WSD. La textura esparítica contiene materia orgánica y en general es la que viene acompañada con la mineralización, a veces contiene venillas finas de bitumen con pirita. En ocasiones se encuentra asociada con calcita. Reacciona muy débilmente al ácido clorhídrico.

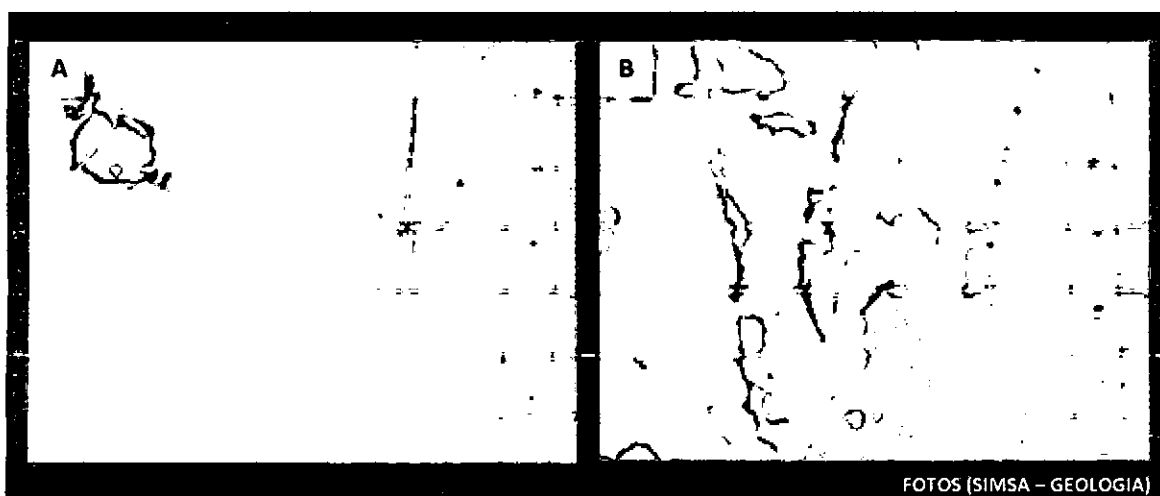


Figura. 3.4. Fluidos Mineralizantes en el Yacimiento San Vicente. **A.** WSD (White Sparry Dolomite) y **B.** GSD (Gray Sparry Dolomite).

3.2.2. TIPOS Y CONTROLES DE MINERALIZACIÓN

La mineralización que presenta el yacimiento San Vicente, es de tipo Cebra (mena bandeada), tipo brecha (fragmentos angulosos) y masivo (esfalerita de grano fino en lentes). (Fig. 3.5).

Mineralización Tipo Cebra

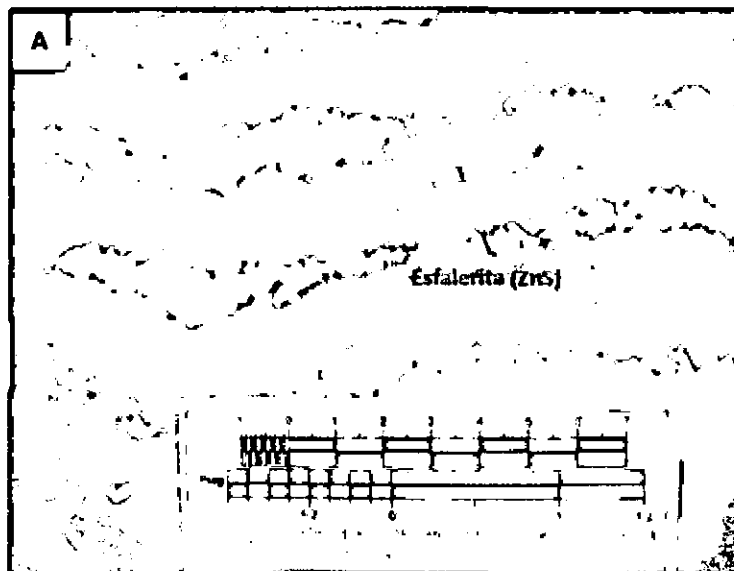
Es la mena bandeada donde el sulfuro principal es la esfalerita de colores marrón-gris-amarilla, etc., la cristalización es fina no ferrífera (blenda rubia). La galena se presenta en pequeñas cantidades, es errática compacta a finamente cristalizada con disseminaciones de pirita fina.

Mineralización Tipo Brecha

Está caracterizada por fragmentos angulosos de esfalerita masiva, esfalerita bandeada y dolomita, y cementada con venas de calcita y/o dolomita.

Mineralización Tipo Masiva

Consiste en esfalerita gris oscuro, de grano fino, distribuida en lentes compactos con dolomita gris clara recrystalizada. Este tipo de mineralización está ligada a mantos de gran potencia y con alto contenido de Zinc.



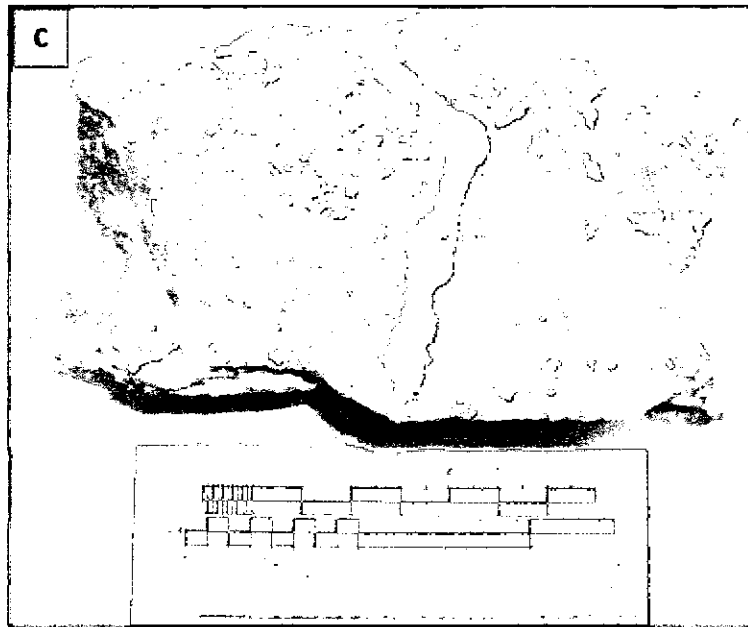


Figura. 3. 5. Tipos de Mineralización en el Yacimiento San Vicente.
A. Mineralización Tipo Cebra, **B.** Mineralización Tipo Brecha,
C. Mineralización Tipo Masiva. Fotos SIMSA – Geología

3.2.3. ENTRAMPAMIENTO

El yacimiento San Vicente tiene principalmente dos mecanismos que determinan el entrapamiento de minerales de zinc y plomo, el primero es la trampa estratigráfica que se verifica por un cambio de facies y el segundo es la trampa estructural, que ocurre en el borde de fallas principales.

CAPÍTULO IV

ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS Y SEDIMENTACIÓN EN CARBONATOS

La Estratigrafía de Secuencias es una metodología que provee un marco para los elementos de cualquier ambiente depositacional facilitando la reconstrucción paleogeográfica y la predicción de facies y litologías fuera de los puntos de control. Este marco adhiere los cambios a los patrones de estratos a las repuestas de las variaciones de la acomodación y aporte de sedimentos a través del tiempo (Catuneanu, et al, 2011). Esta tecnología inicialmente propuesta por la Escuela Exxon en el primer Simposio de Investigación en Estratigrafía Sísmica presentado a la convención nacional a la American Association of Petroleum Geologists en 1975 (Payton, ed, 1977), fue sucesivamente desarrollado en la Conferencia Científica organizada por Everest Geotech en la que se logró integrar varios tipos de evidencias para acercarnos a la solución de los enigmas aun no resueltos (Wilgus, ed, 1988).

Se ha dicho que los “sedimentos de carbonatados nacen, no se producen”. Estas rocas carbonáticas suelen formarse en su lugar de depositación (*in situ*), en contraste con la mayoría del material silicoclástico que son el producto de la erosión y transporte de otras rocas. Es así que los conceptos de estratigrafía de secuencias entre ambos tipos de sedimentos tienen cierta variación por la diferencia en la génesis, la mineralogía, la densidad, etc. El análisis estratigráfico incluye términos de la disciplina estratigrafía de secuencias que se definen a continuación:

4.1 LAS ROCAS CARBONATADAS: ORIGEN, COMPONENTES Y CLASIFICACIÓN

Las rocas carbonatadas son aquellas que están formadas por más del 50% de minerales carbonatados, que se originan a partir de la actividad química, precipitadas ó segregadas de componentes químicos por parte de organismos.

Las rocas carbonatadas suelen formarse en su lugar de depositación (*in situ*), en contraste con la mayoría del material silicoclástico que son el producto erosivo y transportado de otras rocas. Los componentes de las rocas carbonatadas son los siguientes:

1. Componentes ortoquímicos: Son producto de la precipitación química directa en el agua, ya sea marina o meteórica, al momento de la sedimentación o durante de la diagénesis. Entre los componentes ortoquímicos, tenemos:

- **Micrita:** Lodo de calcita microcristalina producido por precipitación química ó bioquímica. Tamaño de 1 a 4 micras, no diferenciables al microscopio.
- **Esparita:** Lodo de calcita microcristalina. Tamaño >10 micras, visibles al microscopio tanto la micrita como la esparita es cemento y matriz en las rocas carbonatadas.
- **Minerales antigénicos:** Son minerales precipitados dentro de la cuenca, no carbonatados, entre los cuales tenemos, glauconita, cuarzo antigénico o pirita.

2. Componentes aloquímicos: son partículas carbonatadas procedentes de la propia cuenca. Entre los aloquímicos podemos distinguir:

- **Fragmentos esqueléticos:** Restos de flora y fauna producidos en un ambiente altamente energético.
- **Intraclastos:** Fragmentos de sedimentos carbonatados, parcialmente compactos, tamaño arena ó rudita.
- **Oolitos:** Partículas esferoidales y ovoides con estructura radial ó concéntrica. Tamaño < 2mm.
- **Pisolitos:** Igual que los oolitos, pero tamaño >2mm.
- **Fósiles:** Organismos (flora y fauna) fosilizados.
- **Pellets:** Partículas subredondeadas, sin ninguna estructura interna. Excrementos de organismos que se alimentan del plancton.

Haciendo una relación con las rocas clásticas, se puede decir que en las rocas carbonatadas los componentes aloquímicos son los granos, y los ortoquímicos constituyen la matriz y cementante de la roca.

Las rocas carbonatadas se diferencian principalmente por su textura deposicional, tipos de granos, composición de la roca, diagénesis, u otros factores. Para su tipificación la Clasificación más aceptada es la de Dunham (1962) (Fig. 4.1), la cual distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonáticos) (1) los que presentan textura deposicional reconocible, y (2) los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura deposicional.

1. Carbonatos con textura deposicional reconocible:

- **Boundstone:** Los componentes originales se encuentran ligados durante la sedimentación debido a la acción de organismos bioconstructores (corales, algas rodofíceas, cianobacterias, etc.).
- **Grainstone:** Textura grano-soportada y sin matriz micrítica. El espacio intergranular puede estar ocupado por cemento.
- **Packstone:** Textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita.
- **Wackstone:** Textura matriz-soportada con más del 10% de granos.
- **Mudstone:** Textura matriz-soportada con menos del 10% de granos.

2. Carbonatos con textura deposicional no reconocible: Carbonatos cristalinos.

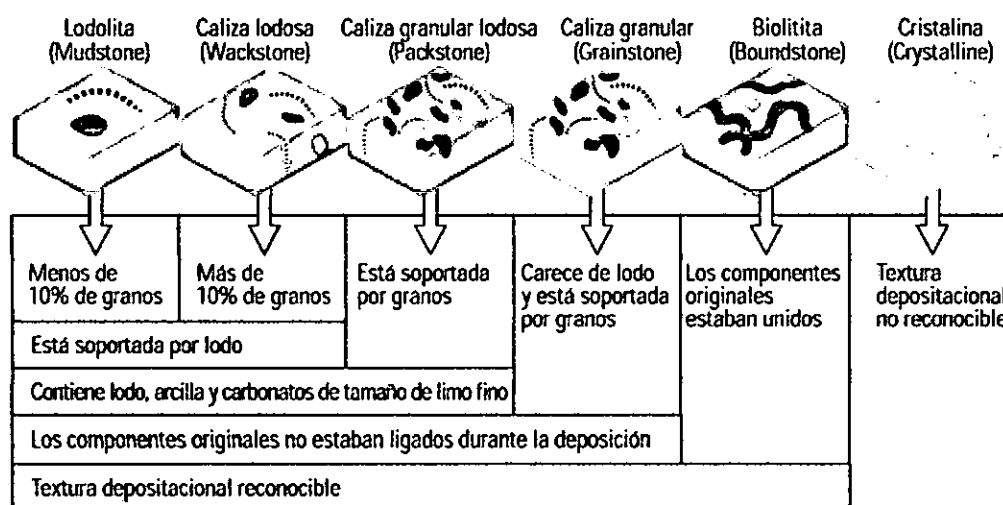


Figura 4.1. Clasificación de las rocas carbonatadas (Dunham 1962). M. Akbar, A. Alghamdi, et al. (2001) *Evaluación de Yacimientos Carbonatados*.

Es así que los conceptos de estratigrafía de secuencias tienen cierta variación por la diferencia en génesis, mineralogía, densidad, etc. La caracterización sedimentológica y el análisis estratigráfico del presente estudio incluyen términos de estratigrafía de secuencias, cuyos conceptos básicos se definen a continuación:

4.2. DEFINICIÓN DE SECUENCIA Y FACTORES QUE LA CONTROLAN

La Escuela Exxon define la secuencia como una sucesión cíclica genéticamente relacionada y limitada por superficies de erosión o no depositación, o por sus conformidades correlativas. El término “secuencia” fue introducido por Sloss et al. (1949), Sloss (1963), para designar unidades estratigráficas limitadas por discordancias erosionales (subaéreas).

La estratigrafía de secuencias explica las variaciones laterales y verticales de las sucesiones sedimentarias en términos de los cambios relativos del nivel del mar, resultante de la interacción de la eustasia (a), la tectónica (b) y el aporte sedimentario (c). Otros autores usan diferentes definiciones, entre las que destaca Galloway (1989 a,b), que proponen el límite de la secuencia a las superficies de inundación máxima que representa largos periodos de tiempo durante el cual el aporte de sedimentos fue mínimo y representa condiciones de aguas profundas.

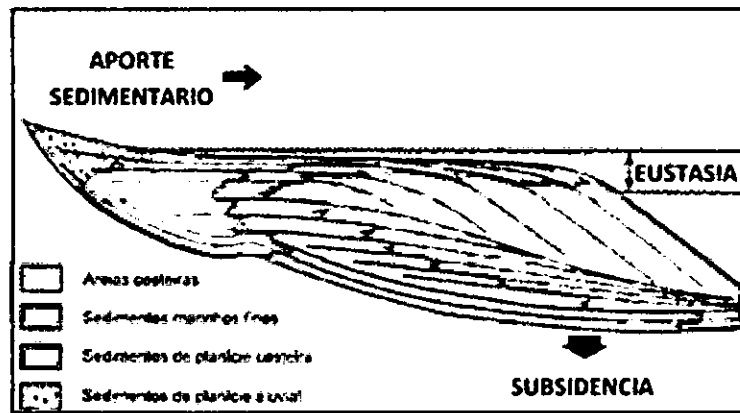


Figura. 4.2. Factores controladores de la Estratigrafía de Secuencias.
(Vail, 1987)

4.2.1. EUSTASIA

Es la variación global del nivel del mar, relacionado a un datum fijo (centro de la Tierra).

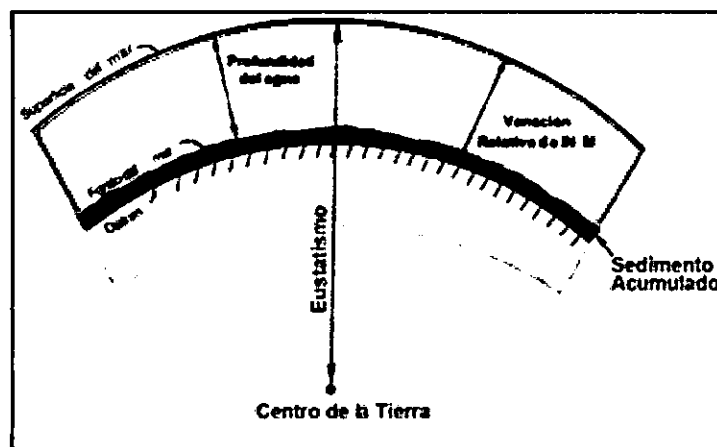


Figura. 4.3. Controles eustáticos en la deposición. (Posamentier et al, 1988)

4.2.2. TECTÓNICA

Subsidencia o levantamiento del substrato de la cuenca por efecto de movimientos de la corteza terrestre.

4.2.3. APOORTE SEDIMENTARIO - CONTROLES EN LA PRODUCCIÓN DE CARBONATOS

a. CAMBIOS RELATIVOS DEL NIVEL DEL MAR

El primer y principal control en la producción de carbonatos, plataformas o crecimiento de bancos carbonatados, y por lo tanto en la distribución de facies, es el cambio relativo del nivel del mar (Sarg, 1988). Estas variaciones son producto combinado de los efectos de la tectónica (hundimiento o elevación) y los cambios eustáticos, que dan lugar al espacio disponible para la acumulación de las sucesiones carbonatadas, también denominado “acomodación” (Jervy, 1988).

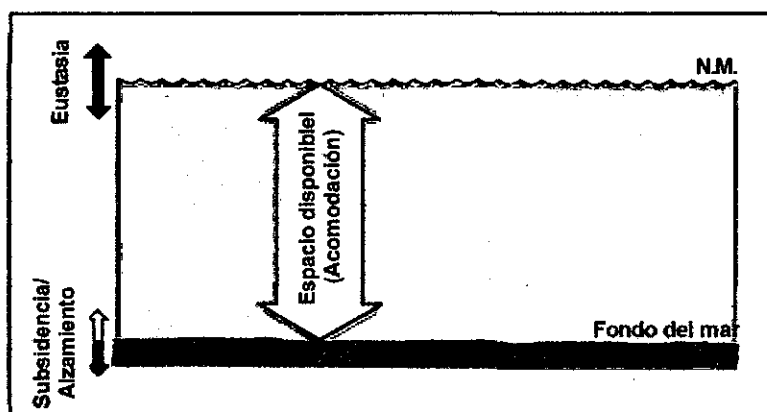


Figura. 4.4. Espacio de acomodación. (Posamentier et al, 1985).

Los sedimentos carbonatados son generados en gran medida por organismos, y muchos se forman como un subproducto de la fotosíntesis (Schlager, 1981). La tasa de producción de material carbonatado depende de la luz solar y disminuye considerablemente con la profundización de agua. Es por ello que la producción de carbonatos se genera mayormente en ambientes someros (20 m de

columna de agua), en donde las condiciones son más favorables, siempre y cuando los cambios relativos del nivel de mar lo permitan.

b. AMBIENTE DEPOSITACIONAL

Otro efecto importante en el crecimiento de una secuencia de carbonatos es la configuración de la cuenca. Una cuenca no restringida con circulación de agua normal y buena, como lo fue la cuenca Pucará, proporcionará un hábitat favorable para el mejor crecimiento de una biota cosmopolita, diferente al que tendría una cuenca restringida, con alta salinidad o con deficiencia de oxígeno. Así mismo los cambios abruptos en la pendiente del fondo marino, tales como grietas en los márgenes de cuenca o bordes de bloques aislados levantados, pueden contribuir al desarrollo de arrecifes o bancos carbonatados, cuyo cinturón de facies lineal formará cambios laterales abruptos en las zonas adyacentes. La plataforma subsecuente o margen del banco tendrá un patrón de crecimiento de agradación y progradación, y la geometría resultante estará en función del crecimiento y contribución de los organismos y de la profundidad del agua.

La geometría progradacional es común en cuencas someras a moderadamente profundas (100-600m) con tasa de subsidencia de moderada a baja, a diferencia de lo que ocurre en las márgenes de mares profundos, donde predomina la geometría agradacional. Es así que los cambios graduales en la profundización del fondo marino sin

ninguna ruptura abrupta, pueden desarrollar un cinturón de facies menos definido.

El uso de estos criterios y la división de los estratos en secuencias, sugiere que el apilamiento vertical (progradacional o agradacional) y la distribución de las facies carbonatadas son predecibles.

c. CLIMA

El tercer control importante en el desarrollo de facies de carbonatos es el clima. Cuando el clima es árido se favorece la depositación de evaporitas, las que pueden estar asociadas a plataformas carbonatadas y dentro de sub-planicies de marea. El clima también es un control importante en la extensión de la primera diagénesis post-deposicional asociada con la exposición de las unidades carbonatadas durante eventos de caída del nivel del mar generando el desarrollo de la porosidad secundaria kárstica, la cual puede variar considerablemente en grado y en extensión, dependiendo de la duración de la exposición.

4.3. SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS CLAVES

Las superficies estratigráficas proporcionan información fundamental para la interpretación genética de toda la secuencia sedimentaria. Indican desplazamientos a través del tiempo y son originadas por la interacción de cambios en el nivel base y la sedimentación.

Las superficies estratigráficas claves son de abajo hacia arriba: Limite de secuencia, Superficie transgresiva y Superficie de inundación máxima.

4.3.1. LÍMITE DE SECUENCIA

Es una discordancia y su concordancia correlativa, que posee continuidad lateral (Vail et al, 1977). Un límite de secuencia separa todos los estratos por encima del mismo dentro de un contexto cronoestratigráfico.

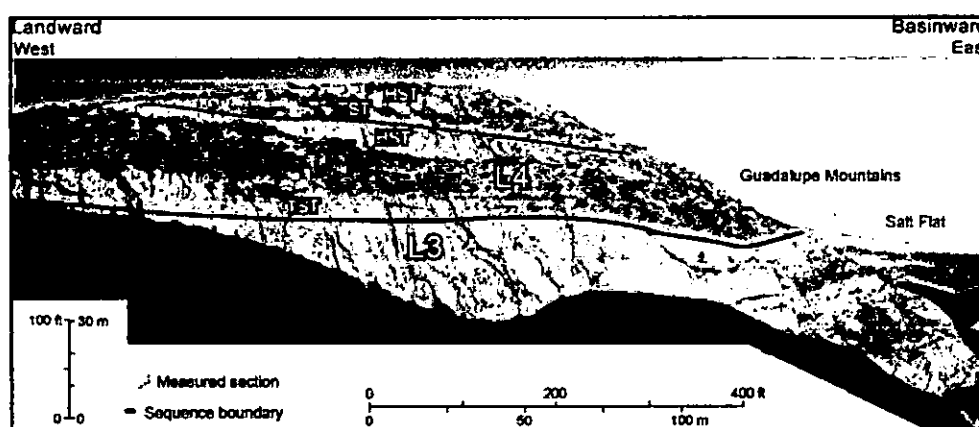


Figura. 4.5. Afloramiento de las montañas de Sierra Diablo del Oeste de Texas mostrando límites de secuencia (L3 y L4-Lineas negras). S. Ruppel & W. Bruce Ward, (2013). *Outcrop-based characterization of the Leonardian carbonate platform in west Texas: Implications for sequence-stratigraphic styles in the Lower Permian.*

4.3.2. SUPERFICIE TRANSGRESIVA (ST)

Es la primera superficie formada durante el inicio de una transgresión marina dentro de la secuencia. En este tiempo ocurre también la máxima regresión. (Posamentier and Vail, 1988). (Fig. 4.5)

4.3.3. SUPERFICIE DE INUNDACIÓN MÁXIMA (SIM)

Es la máxima de las transgresiones marinas y que marca el fin del Sistema Transgresivo y el inicio del Sistema de Nivel alto (Sistema Highstand). En el

modelo de estratigrafía de secuencias genéticas (Galloway 1989 a,b), la secuencia está limitada en su base y tope por las superficies de inundación máxima SIM.

4.4. LOS SISTEMAS ENCADENADOS (SYSTEMS TRACTS) EN LAS ROCAS CARBONATADAS DEL GRUPO PUCARÁ

Un sistema depositacional es un conjunto tridimensional de facies. Un sistema encadenado o *systems tract* es un enlace de sistemas depositacionales contemporáneos (Brown y Fisher, 1977), definidos por su posición dentro de la secuencia y por los patrones de estratificación (retrogradación, agradación y progradación). Se interpreta que los *systems tract* fueron depositados durante variaciones específicas de la curva eustática (Fig. 4.5), acentuada por dos puntos de inflexión en el modelo eustático, el F (Fall – punto de inflexión de caída relativa del nivel del mar) y el R (Rise – Punto de inflexión de subida relativa del nivel del mar).

Las variaciones relativas del nivel del mar controlan los cambios en el espacio de acomodación, sin embargo durante una caída lenta del nivel del mar, el espacio de acomodación puede ir aumentando a consecuencia de la subsidencia local. Este parámetro es independiente de la acumulación de sedimentos y no debe confundirse con la profundidad del agua.

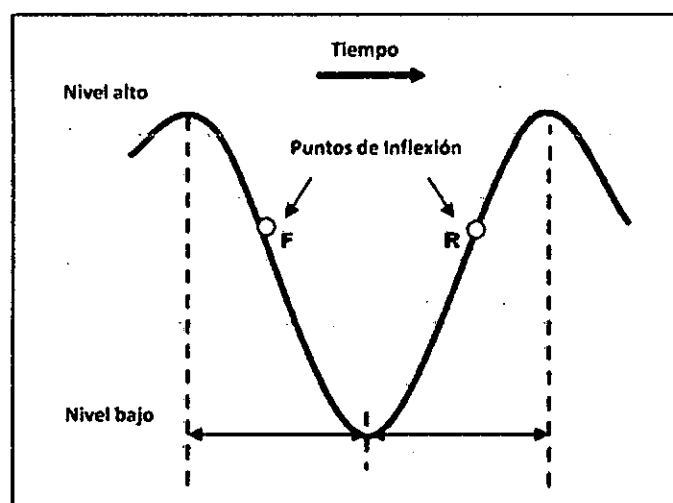


Figura. 4.6. Curva de cambios eustáticos.
(Posamentier et al, 1988).

Los sistemas encadenados, están basados en los patrones de apilamiento de estratos, las superficies limitantes y en la distribución de parasecuencia y se denominan de abajo hacia arriba:

4.4.1. SISTEMA ENCADENADO LOWSTAND

Ocurre debido a una caída rápida del nivel del mar y provoca una incisión en la llanura costera. Este sistema no se ha observado en la sucesión carbonática en la zona de estudio.

4.4.2. SISTEMA ENCADENADO TRANSGRESIVO

Inicia con una subida relativa del nivel del mar (transgresión marina), generando mayor espacio de acomodación, desarrollando un patrón de apilamiento retrogradacional (avance de línea de costa tierra adentro). El sistema transgresivo inicia con la primera transgresión marina, y finaliza con la

superficie de inundación máxima (SIM) (evento de máxima transgresión marina en el continente), que marca el final del TST.

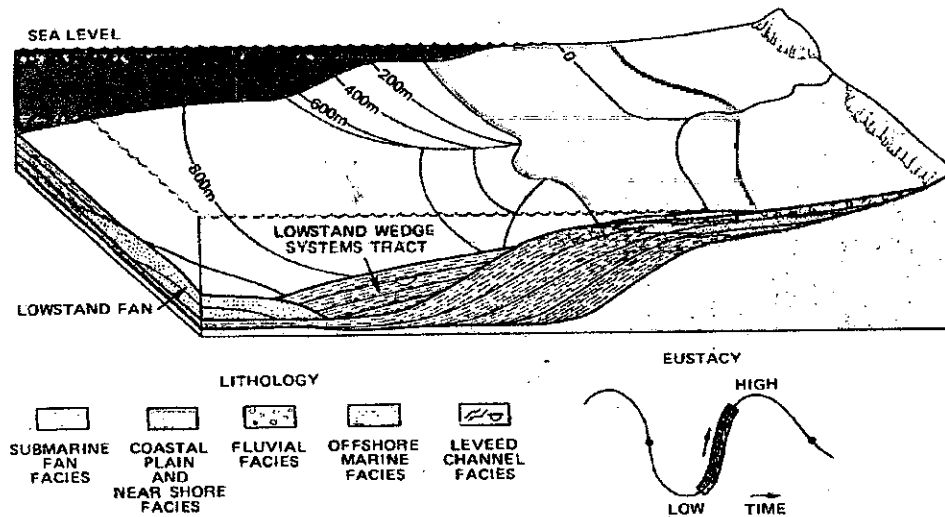


Figura. 4.7. Sistema Encadenado Transgresivo (Transgressive System Tract – TST. (Posamentier et al, 1988)

4.4.3. SISTEMA ENCADENADO HIGHSTAND (SISTEMA DE NIVEL ALTO)

Inicia con la superficie de inundación máxima, marcando el final de la transgresión marina. La tasa de subida del nivel del mar es mínima y comienza a caer, dando lugar al desarrollo de patrones de estratificación inicialmente agradacionales (patrón de apilamiento vertical de la estratificación) y luego progradacionales (patrón de apilamiento de avance de los estratos hacia la cuenca).

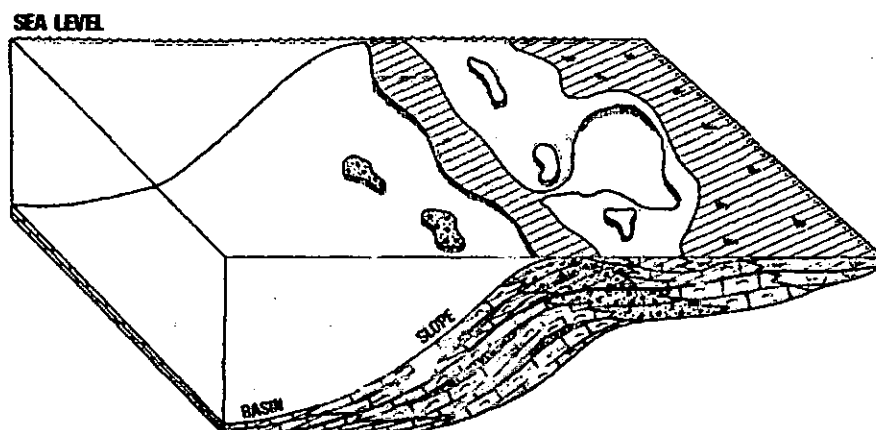


Figura. 4.8. Sistema Encadenado Highstand

ESTILOS DEPOSITACIONALES EN EL SISTEMA HIGHSTAND

El estilo depositacional *Keep-up* (sostenerse) ocurre cuando la tasa de acumulación esta en equilibrio con las subidas relativas del nivel del mar (la suma algebraica de la subidas de la eustasia y la subsidencia), de manera que permite la producción de carbonatos y se mantiene el ritmo de aumento de la acomodación de los sedimentos. Los ambientes de sedimentación están constituidas por agua agitadas y someras con abundancia de nutrientes, baja salinidad, y temperatura moderada. La litología está dominada por facies ricas en grano (grainstones/packstones) y pobres en lodo calcáreo (micrita).

El estilo depositacional "Keep Up" se da en ciclos de somerización (Sarg, 1988). Estas zonas promueven la formación de dolomita oolítica y brechas de disolución en los bancos del cinturón de facies de plataforma, lo que resulta en alta porosidad, alta permeabilidad, y un patrón de estratificación al inicio agradacional y luego progradacional.

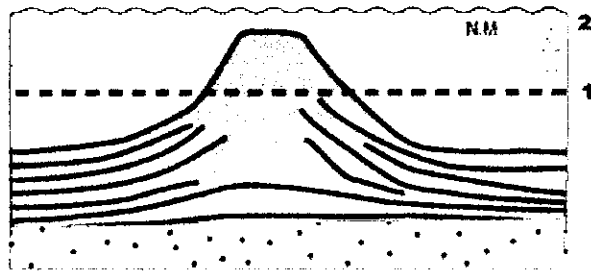


Figura. 4.9. El estilo deposicional "Keep Up"

En cambio cuando la tasa de acumulación disminuye, las condiciones del agua ya no son favorables para la producción rápida de carbonatos e inicia el estilo deposicional "*Catch-Up*" (mantenerse) lo que da lugar a la cementación submarina temprana y a la compactación química que ocurre mayormente en las márgenes de la plataforma.

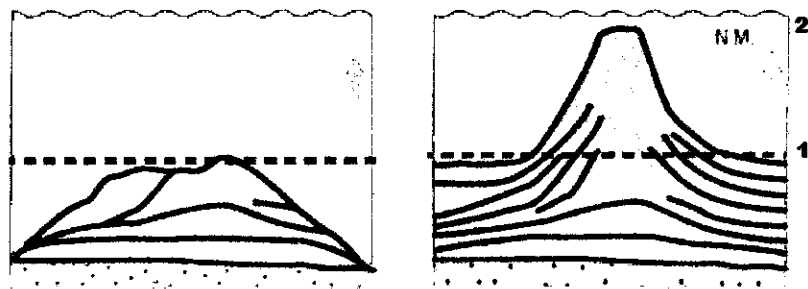


Figura. 4.10. El estilo deposicional "Catch Up"

4.5. FACIES

La Facies es un cuerpo de roca tridimensional con características litológicas, y atributos estructurales, texturales y biológicos que las diferencian de otras facies. (Walker, 1992). La identificación de facies es el paso fundamental en el análisis utilizando los razonamientos de la Estratigrafía de Secuencias.

Los procesos sedimentarios que prevalecen en los ambientes y sub-ambientes depositacionales son las que controlaron la formación de facies y subfacies. Por lo tanto, su reconocimiento nos da indicios de los procesos y de los ambientes depositacionales en que se han formado.

En la descripción sedimentológica de cada uno de los pozos en estudio se puso particular atención a la observación de los elementos de facies como son la litológica, la textura, las estructuras sedimentarias, los contactos de base, el contenido faunístico, etc. La nomenclatura adoptada fue la establecida por Miall (1977, 1978), donde la primera letra en minúscula se refiere a la textura característica y/o estructura interna predominante, y la segunda letra en mayúscula corresponde a la litología (tipo de roca). Ejemplo: oD: Dolomita ooide, pD: Dolomita peloide. (Tabla 4.1).

Tipo de roca		Estructura predominante	
C	Caliza	f	Fósiles o bioturbación
D	Dolomita	l	Laminación planar
V	Roca volcánica	w	Laminación wispy
		x	Laminación cruzada
Textura			
a	Alga	k	Kartsismo
b	Brecha de disolución	m	Masiva
b'	Brecha de colapso	o	Ooide
c	Cebra	p	Peloide
c'	Cebra incipiente		

Tabla 4.1. Nomenclatura establecida para la definición de facies.

Las facies identificadas en el presente estudio son las siguientes:

Nº	Facies	Descripción
1	oD	Dolomita ooide.
2	lD	Dolomita ooide con laminación.
3	bD	Dolomita con brecha de disolución.
4	cD	Dolomita con textura tipo cebra.
5	mD	Dolomita masiva.
6	xC	Lodolita calcárea laminación cruzada
7	bC	Caliza bituminosa
8	V	Volcánico andesítico.

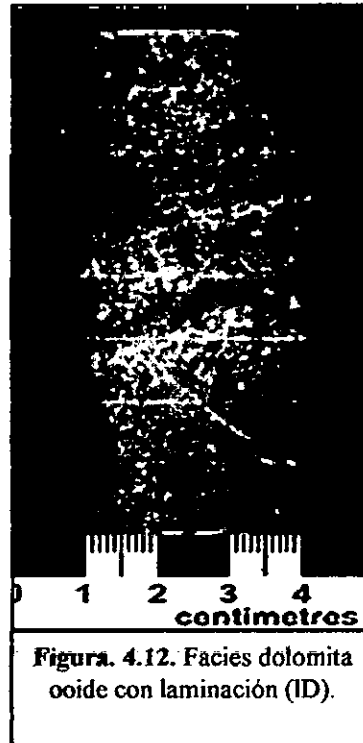
Tabla 4.2. Facies identificadas en la descripción de núcleos de los pozos.

1. Dolomita ooide (oD)



Corresponde a una dolomita con material intergranular ooide, color gris blanquecino, masiva, de tamaño de grano medio a grueso y buena selección. En ocasiones presenta venillas de fluido mineralizante tipo *white sparry dolomite (WSD)*.

2. Dolomita ooide con laminación (ID)



Representa a una dolomita ooide, color gris claro a medio, masiva, de grano medio y buena selección, presenta estratificación o laminación subhorizontal y ocasionalmente escasas venillas de fluido mineralizante tipo *white sparry dolomite (WSD)*.

3. Dolomita con brecha de disolución (bD)



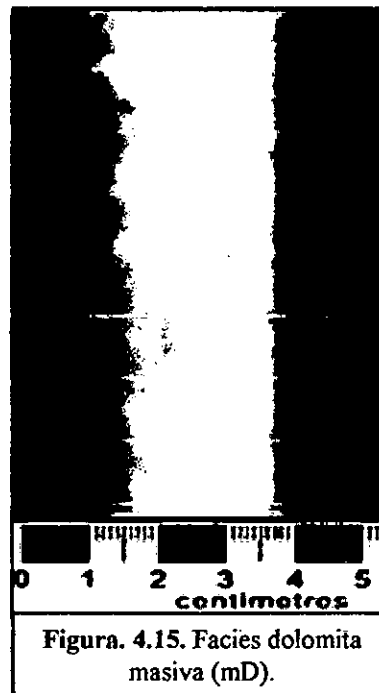
Dolomita con textura de brecha de disolución, color gris, tamaño de grano medio a grueso, presenta fragmentos angulosos de dolomita de tamaños variables con matriz de fluido mineralizante tipo *white sparry dolomite (WSD)* y *gray sparry dolomite (GSD)*. Ocasionalmente se encuentra altamente fracturada o craquelada.

4. Dolomita con textura tipo cebra (cD)



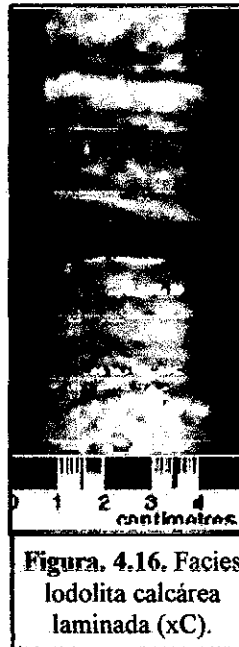
Dolomita de grano fino a medio, buena selección. La concentración de fluido mineralizante está representado mediante la alternancia de bandas de *white sparry dolomite* (WSD) y *gray sparry dolomite* (GSD), cuyos espesores varían entre 0.1 a 1 cm.

5. Dolomita masiva (mD)



Dolomita color gris a gris oscuro, de tamaño muy fino a fino, buena selección, compacta, ocasionalmente presenta escasas venillas de WSD.

6. Facies lodolita calcárea laminación cruzada (xC)



Presenta intercalaciones de color gris claro y oscuro, masiva, grano de tamaño fino y buena selección.

Consiste de pares de laminaciones múltiple de 0.5 a 2 cm en espesor.

7. Caliza bituminosa (bC)



Calizas de color negro, masiva, tamaño de grano muy fino a fino, ocasionalmente presenta laminación sub-horizontal y escasa venillas rellenas de calcita, al tacto deja mancha color negra. Constituye una unidad guía para efectuar correlaciones estratigráficas.

8. Volcánico andesítico (V)



Roca volcánica probablemente andesita, de color gris verdoso, masiva, de grano fino (afanítico).

4.6. EL PERFIL DEPOSITACIONAL, EL CINTURÓN DE FACIES Y LOS AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN

Los perfiles de la margen de plataforma se agrupan en tres clases: plataforma o rampa regional; bancos progradantes que bordean el margen de la cuenca; y plataformas marinas aisladas.

- **Plataformas / Rampas regionales**

Las rampas regionales varían ampliamente en espesor desde unos pocos a cientos de metros, y la geometría de sus patrones va de agradacional a progradacional. Las rampas carbonatadas son construidas lejos de áreas positivas y debajo de suaves paleopendientes regionales. No hay rupturas abruptas en la pendiente existente y los patrones de facies tienden a ser cinturones anchos e irregulares. En imágenes sísmicas, las rampas pueden mostrar bajos ángulos pertenecientes a patrones progradacionales en formas sigmoidales.

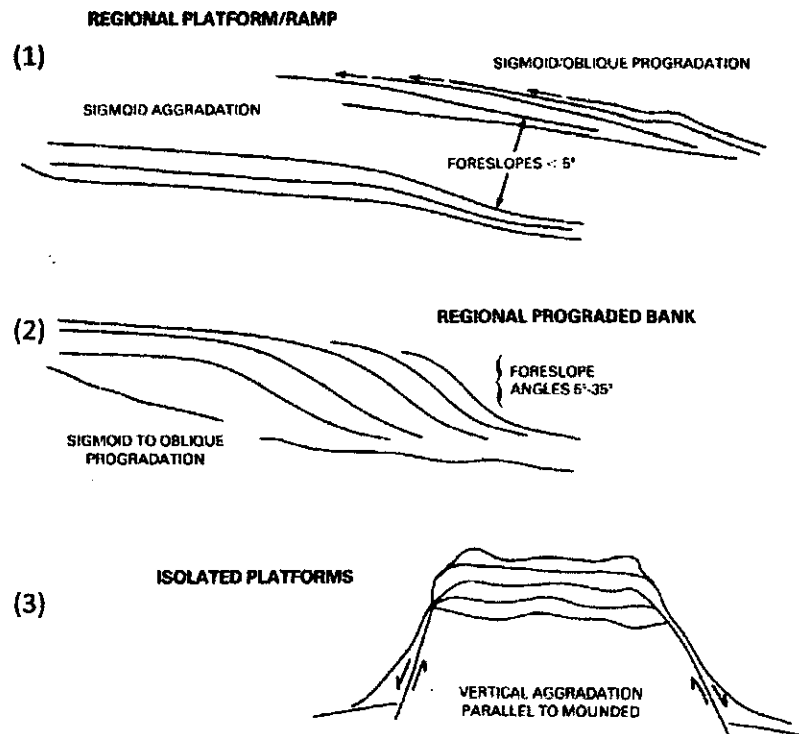
- **Bancos progradantes**

Son acumulaciones de sedimentos formados por el crecimiento de organismos que causan y contribuyen a la depositación del sedimento pero no forma una estructura rígida. El término arrecife es usado por las estructuras rígidas positivas formado por inter-crecimiento de organismos sedentarios. Tienen un patrón progradacional con pendientes frontales, las cuales varían de 5 a 35°. El espesor del banco puede ser de pocos a cientos de metros y la progradación puede ser de algunos kilómetros. En estos bancos se observan patrones de progradación tipo sigmoidal, sigmoidal/oblicuo y oblicuo.

- **Plataformas marinas aisladas**

Las plataformas marinas aisladas son acumulaciones complejas de gran tamaño y espesor en costa afuera desde los márgenes de cuenca regionales de rampas o plataformas ("buildups"). Las Bahamas son ejemplos de estas formaciones.

Los bloques de los horst dentro de las cuencas *pull-apart* comúnmente propician el desarrollo de una plataforma aislada. Estos bloques pueden servir como lugares de depositación de carbonatos marinos someros, mientras que los sedimentos lodosos de aguas profundas son limitados a los grabens.



- (1). Plataforma/rampa regional (frente de pendiente de 5 grados o menos) mostrando ambas progradación sigmoidal y oblicua.
- (2). Banco regional progradante (frente de pendiente de 5 a 35 grados)
- (3). Plataformas aisladas mostrando dominio de agradación vertical con márgenes escarpadas. (Sarg, 1988)

Figura. 4.19. Perfiles de la margen de plataforma

Los cinturones de facies son sucesiones de roca a manera de cordones paralelos que tienen facies distintivas reconocidas en el perfil de carbonatos. Dado que la mayoría de sedimentos carbonatados se originan en la cuenca de depositación y en gran parte son de origen orgánico, la distribución de facies es especialmente sensible a cambios en la profundidad, composición química y circulación del agua. La Fig. 4.20 muestra un perfil carbonatado representativo desde la plataforma hasta la cuenca, con un cinturón de facies típica. El cinturón de facies varía en amplitud y uniformidad y son más frecuentes y regulares donde la plataforma es restringida y el margen de plataforma es escarpado.

Donde el margen de plataforma/banco es bajo y en áreas de plataforma extensa, los cinturones son anchos y más difusos. Desde la costa hacia la cuenca, se reconocen el siguiente cinturón de facies: planicie de mareas, plataforma marina somera, banco, pendiente, y cuenca. Estos a su vez son los ambientes de depositación de carbonatos.

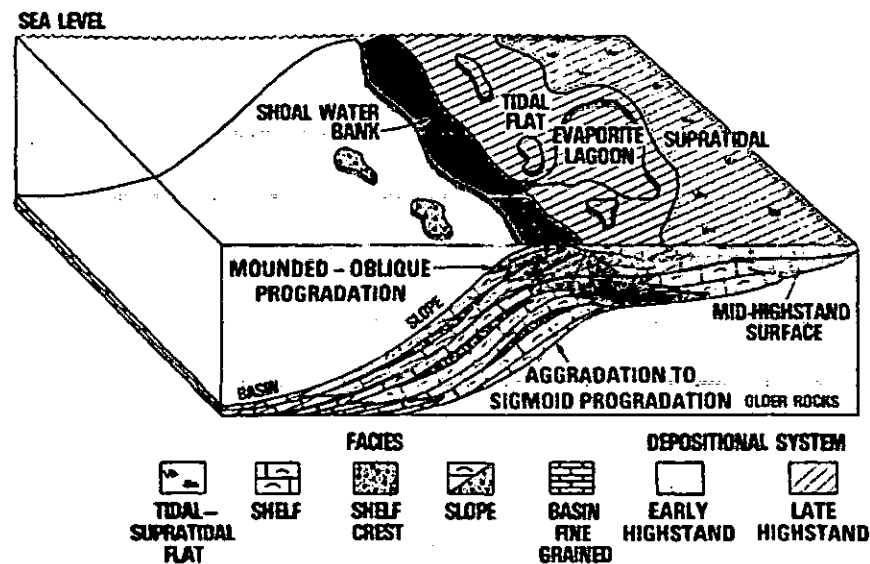


Figura. 4.20. Diagrama indicando las geometrías deposicionales en el sistema Highstand. El cinturón de facies Banco (shoal water bank) se sostiene (“keep up”) con las subidas relativas del nivel del mar lo que resulta en un patrón de estratificación progradacional.

- **Planicie de mareas (supramarea-intermarea)**

Las facies de supramarea están generalmente dominadas por estromatoporoides, algas, dolomitas y mezclas de evaporitas y/o sedimentos terrígenos. El sedimento de intermarea también trae consigo material clástico y evaporitas, pero generalmente en menos cantidad que las facies de supramarea.

Las subfacies de supramarea se caracterizan principalmente por la presencia de grietas de desecación (mudcraks). El subambiente supratidal ocurre principalmente en condiciones de marea alta y la mayor parte del tiempo presenta exposición subaérea. Las subfacies de intermarea se desarrollan entre una marea alta normal y una marea baja normal, son ricas en lodo y contienen canales de marea complejos.

- **Plataforma marina somera**

Este cinturón de facies consiste de parasecuencias gradando de mudstones esqueletales subtidales y wackstones a peloides o packstones y grainstone. Si existieron condiciones normales en el agua marina, la flora y fauna son abundantes e incluyen corales, moluscos, braquiópodos, esponjas, equinodermos, foraminíferos y algas. La bioturbación es común. Este ambiente ocurre en profundidades de aguas someras (10 a 20m). La salinidad es variable y la circulación del agua tiene rangos de baja a moderadamente alta, dependiendo del grado de restricción del margen de plataforma. Cuando la plataforma está restringida, se pueden formar *lagoons* evaporíticos extensos que se caracterizan por tener parasecuencias con salmuera hacia superficie que consiste de facies lodosas cubiertas por yeso o anhidrita.

- **Banco**

Este cinturón de facies es depositado hasta 50m de profundidad y puede incluir grainstones esqueletales o no esqueletales, packstones, boundstone y arrecifes.

- **El frente de pendiente (foreslope)**

La pendiente deposicional puede ser de 35° o más pronunciada, y la columna de agua puede ser de varios cientos o por encima de los 1000m de profundidad. Las litofacies están integradas de packstones a mudstone frecuentemente bioturbados.

El desarrollo de parasecuencias es menor, y están representados por *couplets* de carbonatos (transgresivos) y shale (regresivos) (Stoakes, 1980).

- **Cuenca (Basin floor)**

Las facies de cuenca varían en composición de acuerdo al grado de circulación y profundidad del agua. Los ambientes de cuenca tienen como máximo 100m de profundidad aproximadamente, que es donde la salinidad y oxigenación son normales con buena circulación de corriente, presentando wackstones esqueléticos con algunos packstones. En zonas más profundas (varios cientos de metros) o áreas de cuencas restringidas en donde las condiciones son de pobre oxígeno y sin circulación de agua, dominan capas delgadas de mudstones laminados oscuros.

CAPÍTULO V

TECNOLOGÍA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO

Los registros eléctricos han sido empleados en la industria petrolera hace más de medio siglo, sin embargo dentro de la industria minera la adquisición de registros eléctricos en las perforaciones diamantinas es una tecnología nueva que inició en Perú en el año 2011 con Weatherford del Perú[®]. A medida que la técnica de los registros eléctricos avanza, también es indispensable realizar una correcta interpretación de los datos obtenidos, proceso mediante el cual, los datos físicos se traducen en propiedades petrofísicas y geológicas de las formaciones.

Los registros eléctricos corridos en los 6 pozos en San Vicente fueron el registro de radioactividad (Gamma Ray - GR), registro de Densidad y registro de Resistividad a continuación se describen los principios físicos, aplicación e interpretación geológica de cada uno de ellos.

5.1. REGISTRO DE RADIOACTIVIDAD (GAMMA RAY)

Es una medición de la radioactividad natural de la roca. Los rayos gamma son impulsos de ondas electromagnéticas emitidos espontáneamente por los elementos radioactivos de las series del U y Th, así como por el isótopo radioactivo del K (K40). En carbonatos puros la cantidad de Th y K es prácticamente nula, entonces la radioactividad proviene del uranio cuyos iones se encuentran en los ambientes subacuáticos (de reducción) asociado a la materia orgánica. En rocas carbonatadas asociadas a arcillas las lecturas altas del Gamma Ray no solo están relacionadas a la fracción de arcilla, sino también a la presencia de los isótopos de la serie uranio-radio de origen orgánico (Glover, 1960).

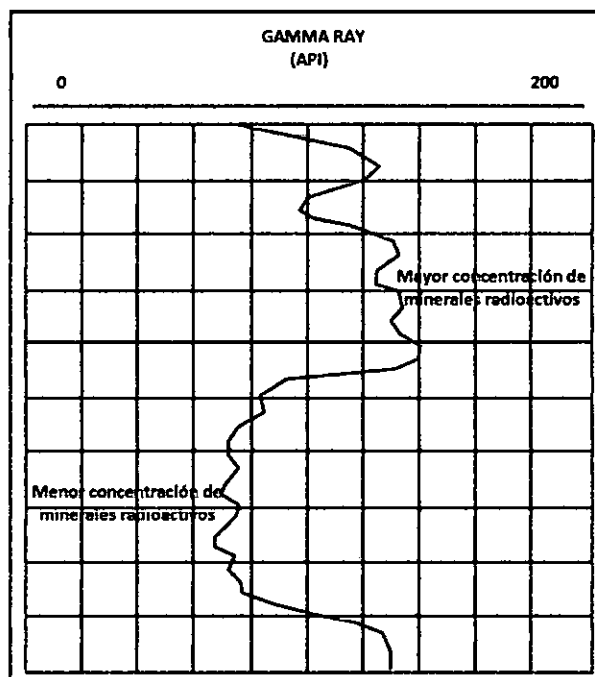


Figura. 5.1. Registro de Gamma Ray, la curva presenta deflexiones que indican la cantidad de minerales radioactivos.

La herramienta de Rayos Gamma consta de detectores de centelleo que se basan en la habilidad de producir flashes de luz al incidir el rayo gamma. Estos centelleos producen a través de cristales los pulsos eléctricos. El tamaño del pulso depende de la cantidad de energía absorbida del rayo gamma. Al atravesar la materia, los rayos gamma sufren colisiones sucesivas con los átomos de la formación y pierden energía hasta que son absorbidos (*Efecto fotoeléctrico*).

La unidad de medida es el API (American Petroleum Institute), que relaciona a cantidades de Th y U en ppm y K en porcentaje. La principal aplicación de éste registro está en la identificación de materia orgánica y arcilla presente en las rocas calcáreas. Cuando no están presentes o están en cantidades mínimas representan las calizas ooides, y al otro extremo se ubica la caliza bituminosa que

muestra una alta radioactividad por el alto contenido de uranio concentrado en la materia orgánica.

5.2. REGISTRO DE DENSIDAD

El registro de densidad se obtiene por medio de una sonda que se introduce en el pozo y se presiona a la pared. Consta de una fuente radioactiva que emite rayos gamma de mediana energía hacia la formación. Dichos rayos gamma son partículas de alta velocidad que colisionan con los electrones de la formación, y en cada colisión los rayos gamma pierden algo de la energía que la ceden al electrón y continúan con energía disminuida hasta llegar al detector. Esta clase de interacción se conoce como *Efecto Compton*.

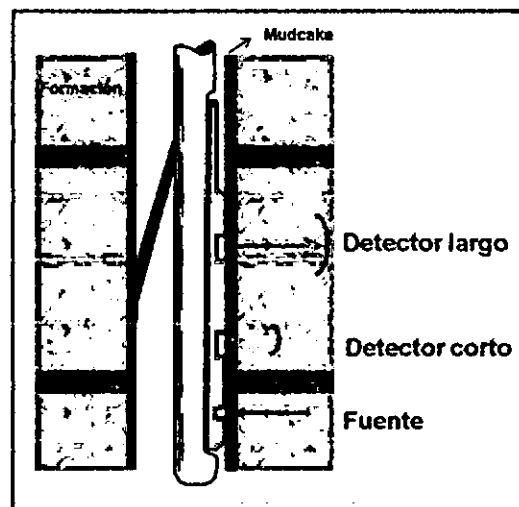


Figura. 5.2. Herramienta de Registro de Densidad.

Los rayos gamma dispersos que llegan al detector, que está a una distancia fija de la fuente, se cuentan indicando la densidad electrónica de la formación, la que prácticamente es idéntica a la densidad real, ya que el número de colisiones en el *Efecto Compton* está directamente relacionado con el número de electrones de la formación. La unidad de medida es g/cm³.

5.3. REGISTRO DE RESISTIVIDAD

La resistividad de una formación se determina por la capacidad que posee la misma para impedir el paso de la corriente eléctrica. La mayoría de los minerales constituyentes de las rocas no son conductores de la electricidad, ósea que son resistivos. Las rocas sedimentarias están formadas por minerales no conductores de electricidad tales como el cuarzo, silicatos, carbonatos u otros. Sin embargo una formación tiene la capacidad de conducir corriente eléctrica por la presencia de fluidos o minerales ya sean conductivos o resistivos dentro de sus poros y matriz. La unidad de medida utilizada en los registros es ohmio-metro²/metro, generalmente expresada como ohmio-m.

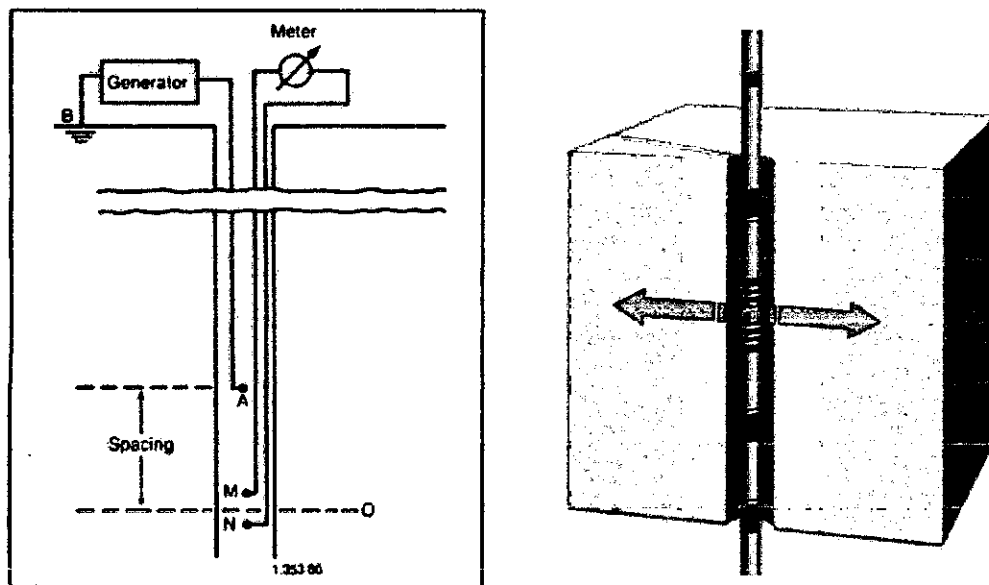


Figura. 5.3. Dispositivo Lateral para la medición del Registro de Resistividad (Izquierda). Herramienta Laterolog de Resistividad al interior del pozo. Alain Brie (2012), *Advanced Formation Evaluation* (Derecha).

El principio físico consiste en el envío de una corriente constante entre dos electrodos (A y B), y la diferencia de potencial se mide entre los electrodos M y N que se encuentran en dos superficies equipotenciales concéntricas en M y N. Esta

diferencia de potencial es proporcional a la resistividad del medio que rodea al dispositivo. (Fig. 5.3).

La importancia de utilizar el registro de Resistividad en la industria minera y específicamente en los depósitos MVT, radica en la capacidad que tienen las variaciones de las curvas resultantes para diferenciar los tipos de sulfuros dentro de una zona mineralizada, ya que el principal mineral económico de los yacimientos tipo MVT es la esfalerita, que es el único sulfuro resistivo que es detectado por los registros de resistividad.

CAPÍTULO VI

DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE SEIS POZOS DEL YACIMIENTO UNCUSH DE LA MINA SAN VICENTE

Los registros eléctricos fueron corridos en los 6 pozos ubicados en la Galería Rhamis del yacimiento Uncush de la mina San Vicente en Enero de 2013. Este evento ha permitido realizar el presente estudio geológico, original en la metodología que propone investigar de que manera los elementos de electrofacies calibrados con la descripción sedimentológica pueden ser utilizados como herramienta de exploración en la búsqueda de la trampa mineralizada.

Los pozos están alineados en 2 grupos de 3 pozos existiendo un desnivel de 50m entre cada grupo. El grupo de pozos ubicado en la parte occidental de Norte a Sur son: U-937, U-938 y U-941 y el grupo de pozos en la parte oriental, de Norte a Sur son: U-913, U-895 y U-905.

6.1. LA BASE DE DATOS PARA LA DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA

La descripción sedimentológica fue hecha macroscópicamente utilizando formatos computarizados estándar organizados en filas que representan una subfacie de roca. La descripción está dispuesta en forma vertical tope arriba.

Las columnas clasifican la información relevante observada en los núcleos o extrapolada del logeo geológico según se detalla abajo:

Número: Representa el número asignado a cada intervalo partiendo del tope de la sucesión.

Intervalo: Muestra la profundidad de la base y del tope del intervalo identificado.

Espesor: Medida representada en metros (m) de la potencia del intervalo.

Facies: Es el cuerpo de roca tridimensional definida en el Capítulo IV. En la columna la facies identifica la característica litológica y textural. Las facies son: Dolomita ooide (oD), Dolomita ooide con laminación (ID), Dolomita con brecha de disolución (bD), Dolomita con textura tipo cebra (cD), Dolomita masiva (mD), Lodolita calcárea laminación cruzada (xC), Caliza bituminosa (bC), y Volcánico andesítico (V).

Subfacies: Es una categoría jerárquica inferior que distingue, dentro de la facies, la característica de litología, textura y estructura sedimentaria. Estas características representan intervalos depositacionales y se codifican delante de la facies en símbolos como sigue:

Textura			
m	Masiva	a	Alga
o	Ooide	k	Kartsismo
p	Peloide	b	Brecha de disolución
c	Cebra	b'	Brecha de colapso
c'	Cebra incipiente		
Estructura			
l	Laminación planar	w	Laminación wispy
x	Laminación cruzada	f	Fósiles o bioturbación

Tabla 6.1. Nomenclatura para subfacies

Granulometría: Expresa el tamaño de grano estándar (Escala de Wentworth) observado en la muestra de núcleo, se representada por: MG: Muy grueso; G: Grueso; M: Medio; F: Fino; MF: Muy fino.

Color: Es la determinación de la tonalidad de la roca estandarizada, la escala de colores va de N1 al N6 desde color negro hasta color blanco.

N1	negro
N2	gris oscuro
N3	gris
N4	gris claro
N5	gris blanquecino
N6	blanco humo

Tabla 6.2. Nomenclatura de color

Contactos base: Representa la naturaleza del contacto de la base del intervalo mediante abreviaturas: planar neto gradacional, ondulado o erosional.

--	Contacto planar neto gradacional
V	Contacto ondulado
VV	Contacto erosional

Tabla 6.3. Nomenclatura de contacto base

Fluido mineralizante: Es la cantidad del flujo mineralizante (WSD-GSD en porcentajes) que atravesó la roca en el momento que se formó

la mineralización, precipitando en diferentes texturas como brecha, cebra, etc. Se clasifica de acuerdo al contenido de fluido según la grafica:

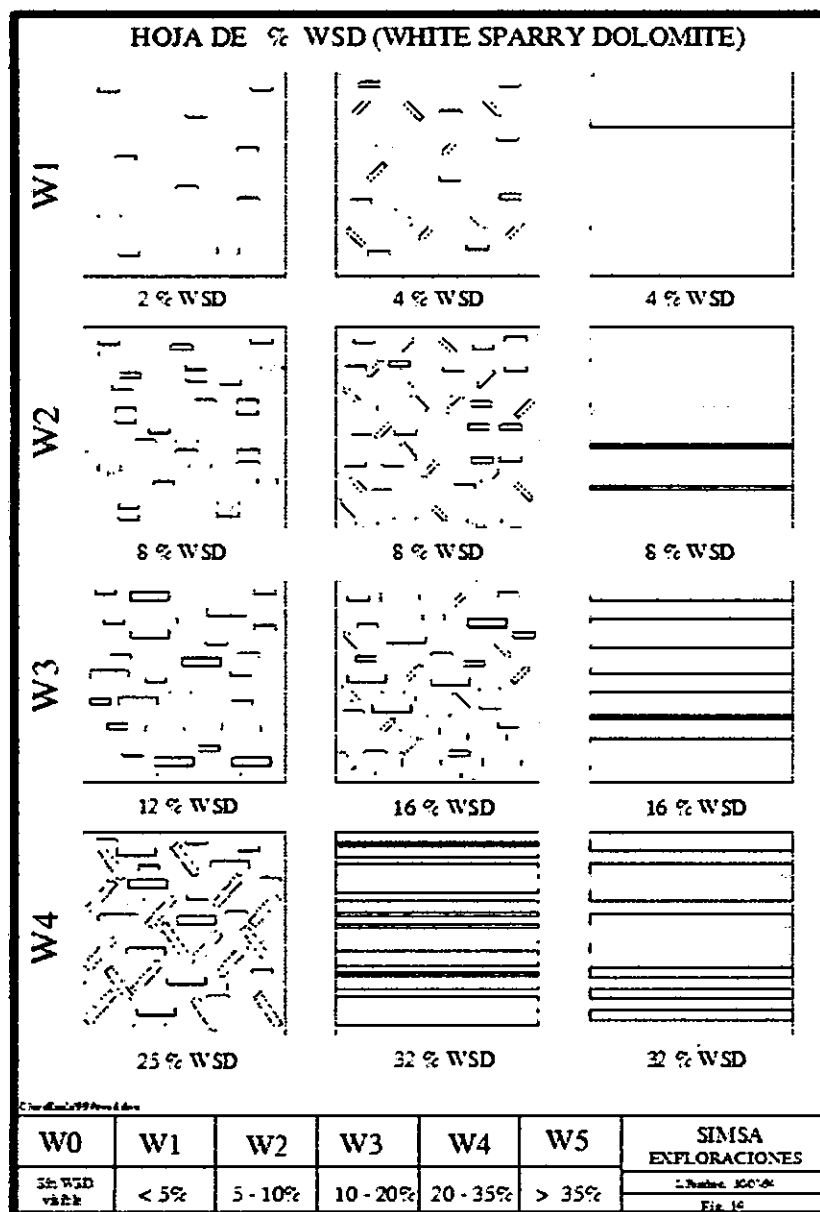


Tabla 6.4. Porcentajes de WSD (white sparry dolomite). SIMSA Exploraciones.

Asociación de facies

Esta columna abarca varias filas en la que las facies y subfacies descritas en la Columna 4 han sido asociadas y nominadas siguiendo la clasificación de carbonatos (Dunham, 1962): Mudstone, Wackstone, Packstone y Grainstone.

Sub-ambientes de sedimentación

La interpretación areal de la asociación de facies identifica al sub-ambiente de sedimentación de la asociación o asociaciones de facies.

Las descripciones detalladas de cada pozo de acuerdo a la observación e interpretación macroscópica realizada en la nucleoteca se presentan en los Anexos 1 al 6.

6.2. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL

El análisis estratigráfico secuencial se elaboró de la integración de la descripción sedimentológica y la interpretación geológica de los registros eléctricos siguiendo los razonamientos de la estratigrafía de secuencias en carbonatos (Sarg, 1988).

6.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS CLAVES

Una sucesión de carbonatos contiene secuencias que son limitadas por superficies estratigráficas claves. En esta ocasión la secuencia es incompleta y solo posee dos sistemas por lo que se utilizó la superficie de inundación máxima (SIM) como límite entre las secuencias. El intervalo de mudstone o

lodolita calcárea que contiene la superficie SIM puede tener o no materia orgánica. En los registros se le identifica por un simultáneo aumento de radioactividad, un ligero aumento de resistividad y una disminución de densidad.

La otra superficie estratigráfica clave es la superficie transgresiva (ST) que indica el inicio de la transgresión marina tierra adentro. Aquí la roca calcárea es el tope de la dolomita oolítica o masiva y la curva de radioactividad alcanza el mínimo. Sobreyacente a esta superficie se desarrollan carbonatos con subfacies laminares.

La posición estratigráfica de los pozos ha hecho posible la identificación de la Secuencia 1, la Secuencia 2 y la Secuencia 3 para los pozos U-937, U-938 y U-941; y la Secuencia 2 y la Secuencia 3 para los pozos U-905, U-895 y U-913. Cada secuencia está a su vez dividida en dos sistemas (Systems Tract), el Sistema Highstand (Nivel Alto) y el Sistema Transgresivo.

U-937	U-938	U-941	U-905	U-895	U-913
Secuencia 3	Secuencia 3	Secuencia 3	Secuencia 3	Secuencia 3	Secuencia 3
Secuencia 2	Secuencia 2	Secuencia 2	Secuencia 2	Secuencia 2	Secuencia 2
Secuencia 1	Secuencia 1	Secuencia 1			

T

Tabla 6.5. Secuencias identificadas en los pozos

6.4. DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS

POZO U-905

La Fig. 6.1 presenta un modelo estratigráfico esquemático del pozo U-905, que incluye el perfil de pozo con las tres secuencias genéticas limitadas por sus respectivas SIM.

Debido a la depositación de facies permeables a poco permeables, y los consiguientes patrones de apilamiento principalmente agradacionales y progradacionales observados, en éste pozo se presentó escasa mineralización, no solo por las pobres características petrofísicas de sus facies, sino por la intervención de actividad volcánica en ciertos intervalos, que contribuyo a la obstrucción de los poros de las rocas y por consiguiente al no desarrollo de mayor mineralización. A continuación se describe la configuración interna de las secuencias identificadas:

La secuencia 1 se presenta incompleta y abarca el intervalo de 178m a 161m. El límite superior está definido por la SIM 2, la cual representa la superficie de inundación máxima, que da inicio al desarrollo de los depósitos Highstand 2 que presenta hacia la base asociaciones de facies tipo packstone que contribuyeron a la depositación de trazas de esfalerita ($Sph < 1\%$), y hacia el tope presencia de facies pertenecientes a sub-ambientes de asociaciones de facies de menor granulometría tipo wackstone. El sistema transgresivo (TST 2) tiene muy poco espesor, dando a notar la rápida subida del nivel del mar hasta alcanzar su punto máximo a 96m (SIM 3).

La secuencia 3 en todo su espesor (96m a 25m), presenta un valor de radioactividad alta en la parte inferior no solo por la facies fina de la roca caliza sino por la roca volcánica circundante. Las condiciones para la mineralización aparentemente eran propicias, sin embargo la intervención de actividad volcánica, reflejada en diferentes facies a lo largo de la secuencia, contribuyeron para que la mineralización no se desarrolle más allá de las trazas. El sistema transgresivo 3 (TST 3) se ha definido a 28 m, que marca el inicio de la subida relativa del nivel del mar, generando mayor espacio de acomodación, desarrollándose un patrón de apilamiento retrogradante en la costa, hasta el evento de máxima transgresión marina en el continente (SIM 4), que marca el final del TST 3.

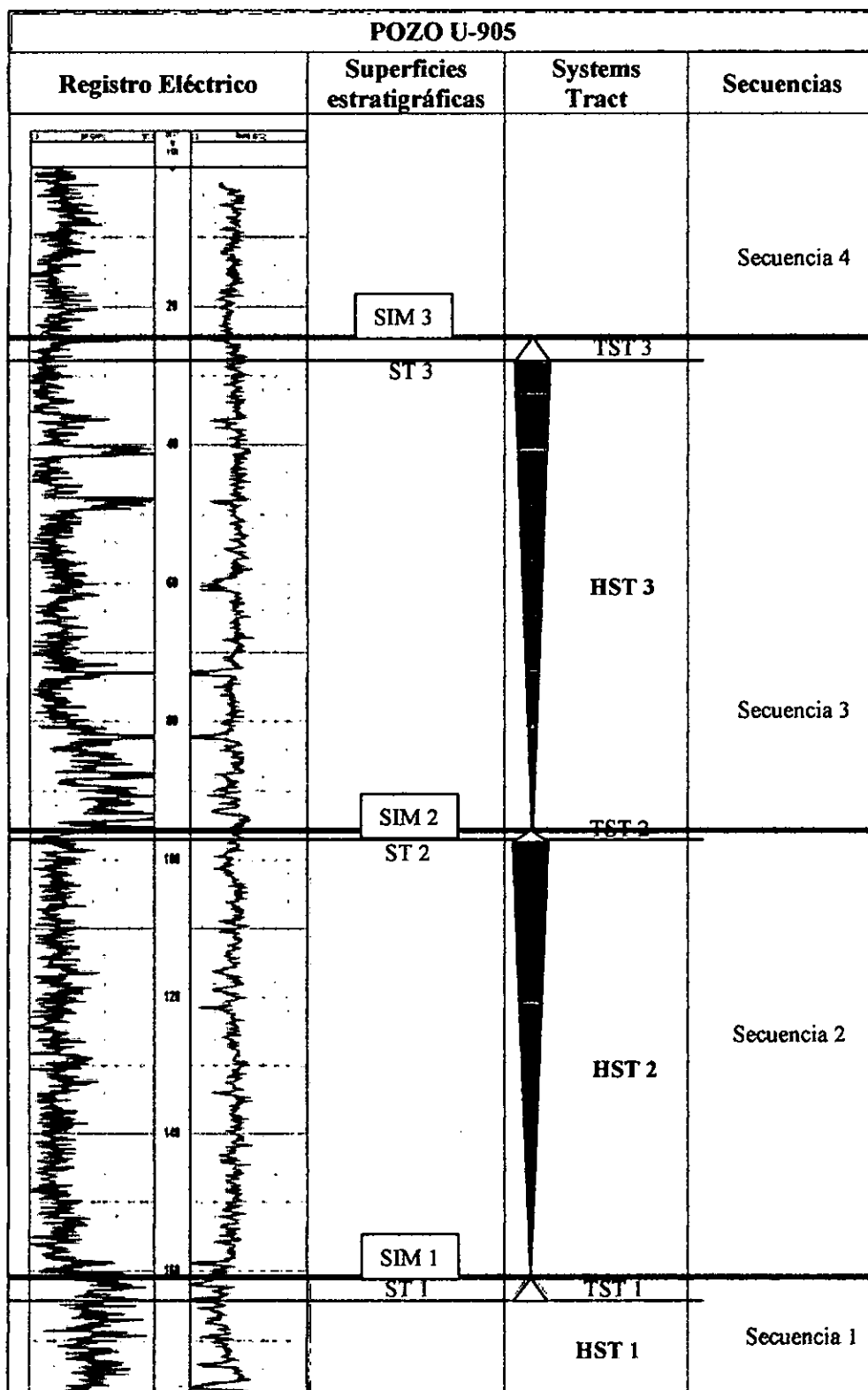


Figura 6.1. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-905

POZO U-895

En el pozo U-895 se identificaron dos secuencias genéticas, limitadas por sus respectivas superficies SIM. Las superficies subyacentes ST, limitan hacia la parte superior de los sistemas transgresivos y hacia la parte inferior los sistemas Highstand de cada secuencia (Fig. 6.2).

La secuencia 1 se encuentra incompleta y abarca el intervalo de 169m a 161m. El límite superior está definido por la SIM 2, la cual representa la superficie de inundación máxima, que da inicio al desarrollo de los depósitos Highstand 2. A 163m se identificó la ST1, que representa el inicio del sistema transgresivo TST 1 que finaliza hasta el límite superior de la Secuencia 1.

La secuencia 2 está compuesta de dolomita de textura peloide a ooide, incluye dos sucesiones con electrofacies de forma cilíndrica, moderadamente arcillosa o con contenido de materia orgánica. El carácter masivo del segundo cuerpo y la forma de la curva de radioactividad indica una estratificación agradante. La asociación de facies de grano fino tipo wackstone a packstone, indica subambientes de plataforma proximal. La ST 2, marca el inicio del TST 2 a 106m presentando un patrón de apilamiento de facies retrogradante, producto de la subida relativa del nivel del mar, generando la depositación de sedimentos de grano fino (packstone), hasta llegar a su punto máximo de subida representado por la superficie de inundación máxima SIM 3 a 102.5m que da inicio a la secuencia 3.

El equilibrio entre el aporte de sedimentos y el espacio de acomodación, se ve representado en los intervalos agradantes de la secuencia 3 compuesta de

dolomita ooide. La sucesión es de ligera disminución de radioactividad y ligero aumento de densidad debido al modo progradante de la dolomita, hasta su límite superior denominado ST3. En esta superficie la radioactividad aumenta y la densidad disminuye bruscamente como resultado de un cambio de facies hacia sedimentos de aguas relativamente más profundas. La última de las secuencias (Secuencia 4) identificada en éste pozo se presenta incompleta está compuesta principalmente por dolomita brechada con un patrón netamente agradante (la radiactividad y la densidad permanecen inalteradas).

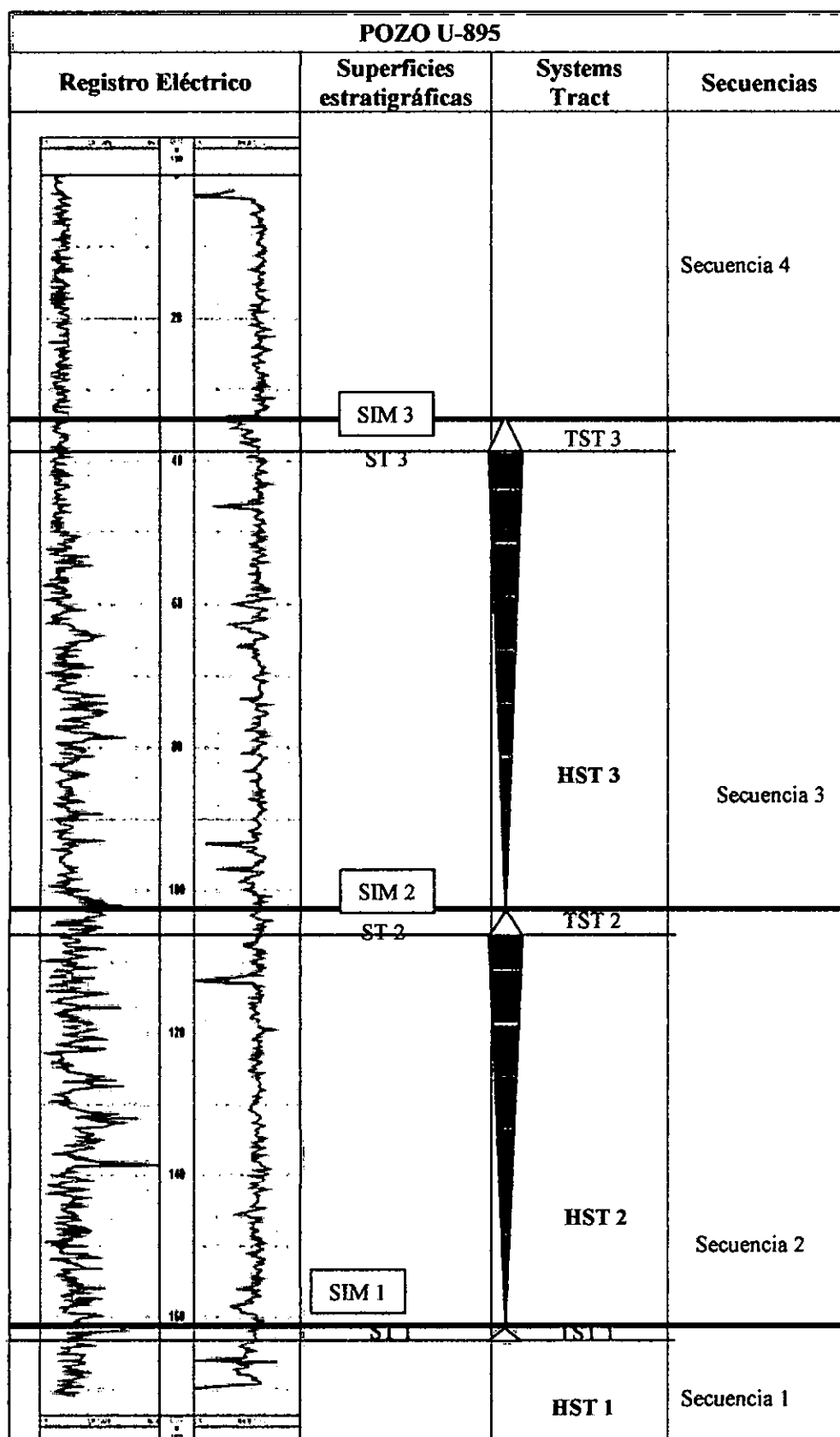


Figura 6.2. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-895

POZO U-913

En el pozo U-913, al igual que los dos pozos descritos anteriormente se identificaron tres secuencias. La Secuencia 1 se presenta incompleta abarcando desde 202m hasta 160m con un patrón de apilamiento de facies principalmente agradacional hasta su superficie de transgresión (ST 1), que da inicio al primer sistema transgresivo (TST 1) que aparece con un tan solo 2m de espesor, el mismo que termina en la SIM 2.

La secuencia 2 está compuesta de dolomita ooide de grano medio-grueso constituyendo una asociación de facies grainstone. Pasa a dolomita tipo packstone-grainstone intercaladas con intervalos menores de facies distales wackstone, hasta llegar a la primera superficie formada durante el inicio de una transgresión marina (ST 2). El sistema Highstand 3 de la secuencia del mismo nombre, presenta un espesor de 63m con un patrón principalmente agradacional por la invariabilidad de sus valores de radioactividad y densidad. El sistema transgresivo tiene espesor inusual de 13m debido a la gradual subida relativa del nivel del mar, hasta la máxima superficie SIM3. Se compone de dolomita brechada y caliza en gradual aumento de materia orgánica. La secuencia 4 incompleta compuesta de dolomita masiva y ooide se mantiene a un nivel relativamente alto de materia orgánica. Es de notar que la densidad de las secuencias 3 y 4 es invariable.

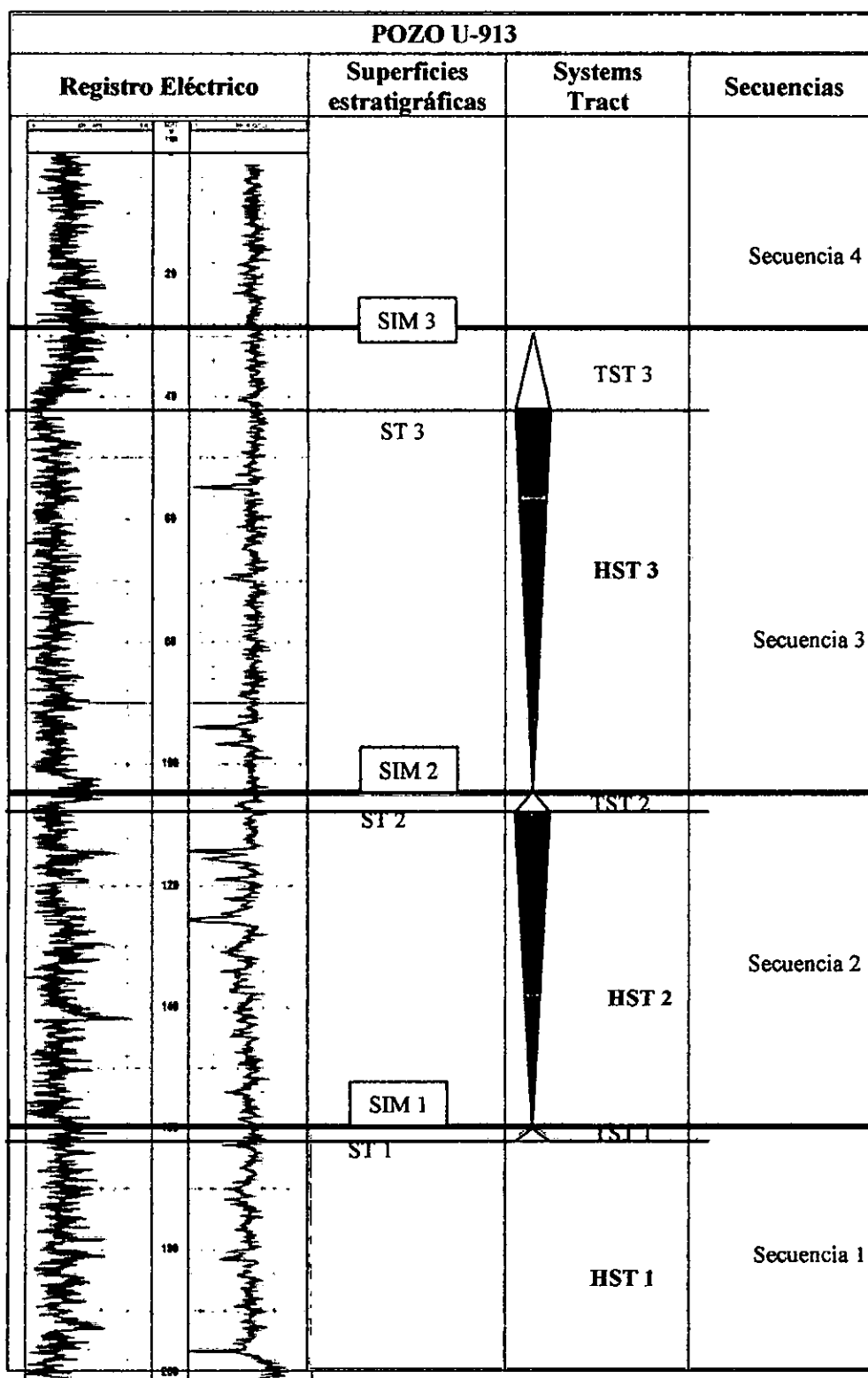


Figura 6.3. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-913

POZO U-937

Éste pozo tiene particular importancia, ya que es uno de los que presentaron mineralización significativa de sulfuros (esfalerita, galena y pirita) en el área de estudio y junto con los pozos U-938 y U-941 se ubica en el nivel 1775 de la galería Rhamis, a 50m de más arriba respecto de los pozos descritos anteriormente. Sin embargo todas las superficies estratigráficas claves son correlacionables entre los 6 pozos.

La parte inferior está compuesta por facies de dolomitas con texturas brecha de disolución y cebrá incipiente, con intercalaciones de roca volcánica andesita. A partir de la profundidad de 132m se identificó la primera superficie de inundación máxima (SIM 1). Esta superficie da inicio a la secuencia 1 compuesta del sistema Highstand (HST 1) y del sistema Transgresivo (TST 1).

La presencia facies de dolomita de grano fino, representadas por lodolita calcárea (mudstone) con niveles fosilíferos no favorece al sistema Highstand 1 como roca receptora de sulfuros, debido a la escasa permeabilidad original. A 106m se identificó la primera transgresión marina (ST 1) de la secuencia 1, que da inicio al sistema transgresivo (TST 1), a consecuencia del sucesivo aumento del nivel mar acompañado de fauna y acumulación de materia orgánica generando el ambiente para la depositación de asociaciones de facies de sub-ambientes distales (mudstone - caliza bituminosa). La segunda transgresión marina ocurre a 95.5m, la tercera transgresión a 86.5m y la última transgresión o inundación, que es la máxima, a 35m (SIM 2).

En respuesta a la disminución de la subida relativa del nivel del mar, la línea de costa va a dar lugar a una regresión, generando el sistema Highstand 2, que en la base presenta facies bituminosas tipo mudstone – wackstone (sub-ambientes de plataforma interna), este cambio de facies precursor de la mineralización facilita la formación de la trampa estratigráfica donde decantarán los iones Zn-Pb-Fe en dolomita oolítica de asociación de facies grainstone, porosa y permeable a partir de 80m, dando lugar a la formación de un cuerpo mineralizado de esfalerita-galena-pirita de 10m de espesor.

Por encima del intervalo mineralizado la roca corresponde a asociación de facies mudstone-wackstone dando lugar a la roca que forma el sello a la migración del fluido mineralizante, ya que es impermeable. La secuencia 3 inicia con dolomita textura cebra en ambiente reductor indicado por el incremento de radioactividad que favoreció la deposición de mineral pirita. La presencia de 10m de cuerpo de pirita esta simultáneamente indicada por la alta radioactividad, baja resistividad y alta densidad.

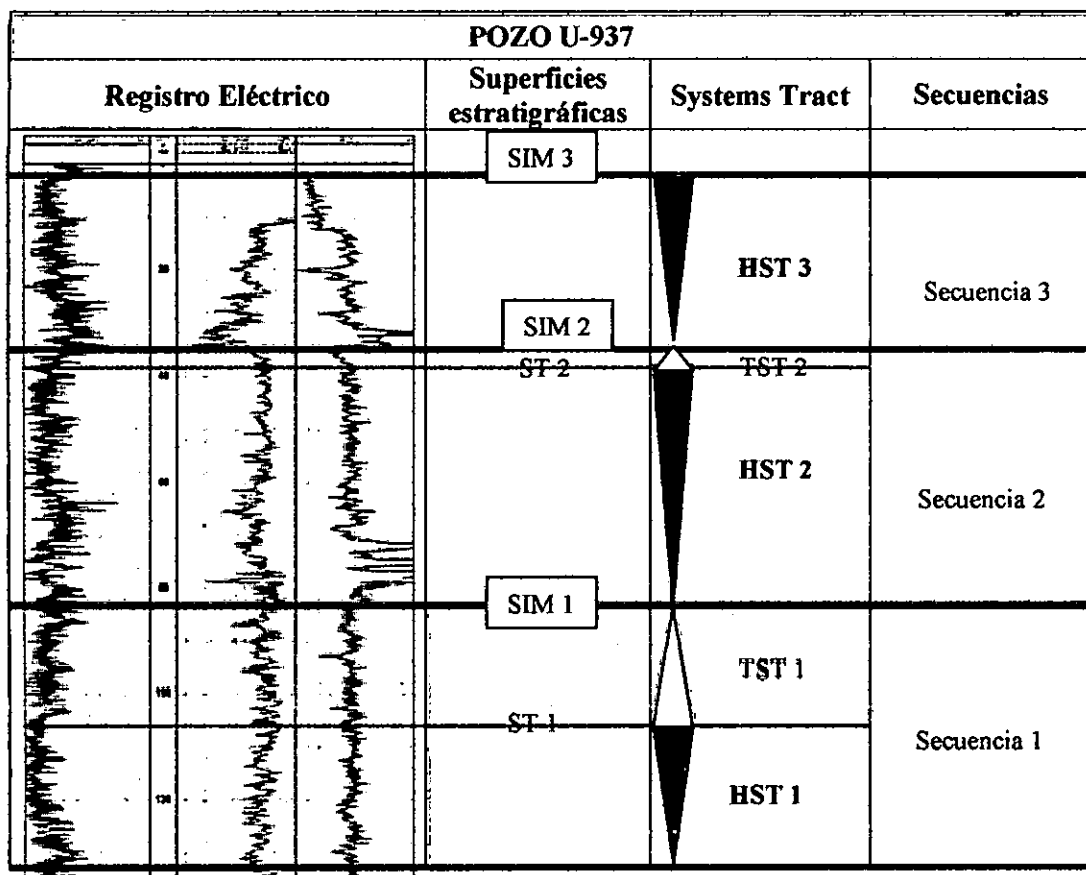


Figura 6.4. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-937

POZO U-938

Este pozo se ubica a 40m del pozo U-938 y en el mismo Nivel, por lo tanto ambos guardan cierta similitud en las características así como en la presencia de mineralización de esfalerita, galena y pirita. A continuación se describen las secuencias identificadas:

La parte inferior del pozo está compuesta por facies de dolomita con texturas brecha de disolución y cebrá incipiente, hasta la profundidad de 140m en donde identificó la primera superficie de inundación máxima (SIM 1) que da lugar al inicio de la secuencia 1 y mostrando un patrón de apilamiento netamente progradante, que presenta hacia la base asociaciones de facies tipo wackstone y hacia el tope presencia de grainstone, indicando sub-ambientes proximales a la costa (plataforma interna), hasta llegar a la ST 1 que limita el inicio del TST 1 con un patrón retrogradante de apilamiento de facies, que llega hasta litología tipo mudstone-wackstone hacia el tope, lo que indica el inicio de la inundación costera representado por la superficie de inundación máxima SIM 2 identificada a 90m.

La secuencia 2 tiene mucha relevancia en éste pozo, ya que es la que contiene facies con las leyes de mineralización, específicamente correspondientes al Highstand 2. La secuencia se inicia con una asociación de facies tipo mudstone-wackstone de 90m a 86m que corresponden al intervalo previo a la mineralización, que van gradando a asociación packstone y grainstone (buena porosidad y permeabilidad) como consecuencia de la rápida tasa de sedimentación que sostuvo el equilibrio con la variación relativa de nivel del mar dando el estilo depositacional Keep-up, que es la que produce la progradación, y

por lo tanto las condiciones son favorables para albergar el cuerpo mineralizado, representado por esfalerita rubia, que predomina desde 86m a 76m.

A 79m es importante resaltar la presencia de porosidad vugular, porosidad móldica y horadaciones, típica del paisaje kárstico. La karstificación es indicativo de exposición sub-aérea que ocurrió al final del ciclo depositacional que alojó al cuerpo mineralizado.

La ST 2 se identificó a 46m y marca el inicio del sistema transgresivo ST2, que se desarrolla en la plataforma, con presencia de nivel fosilífero y que culmina a 42m (SIM 3). Dentro del intervalo de 45m a 39m se observó el cuerpo de pirita ya observado en el pozo vecino U-937.

La secuencia 3 generalmente muestra apilamiento de estratos en estilo progradante, con intercalaciones de caliza gris y caliza negra con topografía kárstica, hasta el inicio del nuevo sistema transgresivo TST 3 a 18m.

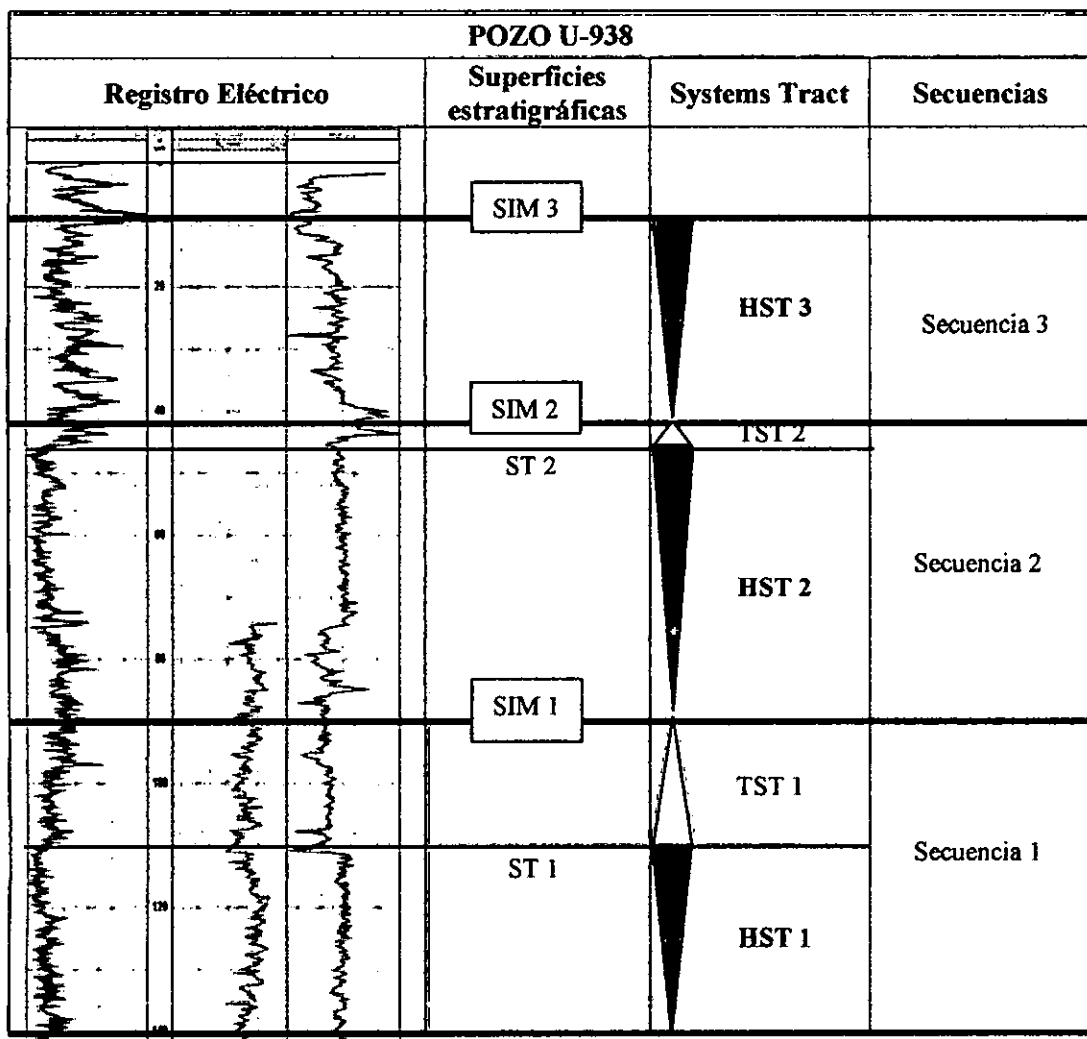


Figura 6.5. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-938

POZO U-941

El pozo U-941 se ubica a más de medio kilómetro al SW del pozo U-938, las características del mismo indican la presencia de un cuerpo mineralizado (esfalerita-galena-pirita) en la misma posición estratigráfica de los dos pozos mencionados, pero con leyes menores debido a la intervención de la actividad volcánica asociado a plataformas de carbonatos que por falta de luz disminuyó la producción de organismos dependiente de la fotosíntesis.

Los pozos que presentan mineralización tienen en común el desarrollo de la misma en la base del sistema Highstand 2.

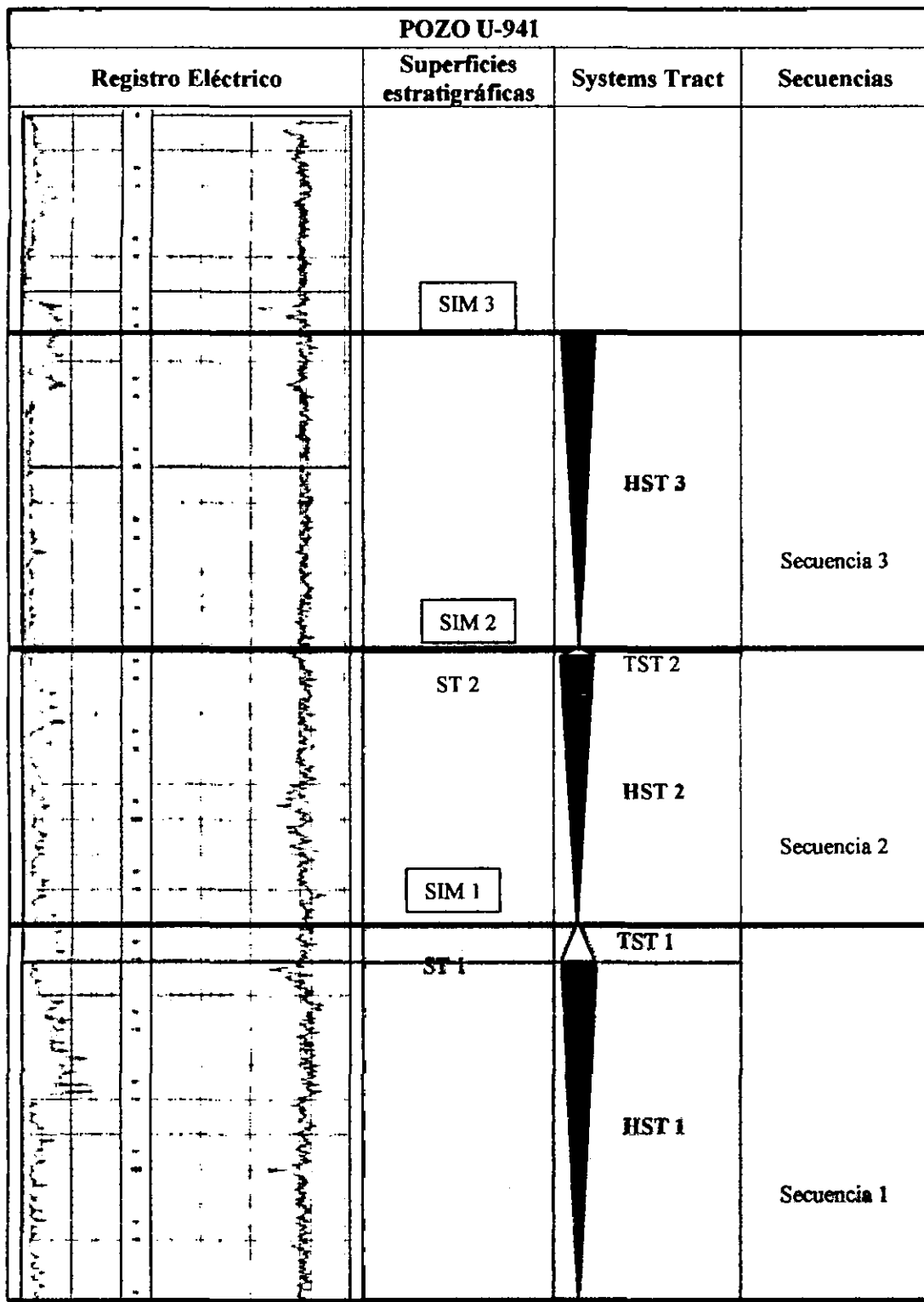


Figura 6.6. Modelo estratigráfico esquemático del Pozo U-941

CAPÍTULO VII

ELECTROFACIES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.1. CALIBRACIÓN NÚCLEO-REGISTRO

La calibración Núcleo - Registro es un proceso que se realiza para identificar las características litológicas, texturales y estructurales de las rocas en los registros eléctricos. Para identificar ciertas facies sedimentarias en los registros se utiliza la técnica de *electrofacies* y para la identificación de superficies estratigráficas y secuencias se usa el análisis de *electrosecuencia*.

7.2. ELECTROFACIES Y ELECTROSECUENCIA

Una electrofacies se define como el conjunto de respuestas de los registros eléctricos con características suficientemente distintivas como para ser separadas de otras electrofacies. Esas características son: la línea base, la tendencia, la forma de la curva, tipos de base y tope de las capas y valores.

Una electrosecuencia es un intervalo definido en el registro eléctrico a través del cual la respuesta es consistente o varía consistentemente, y son suficientemente distintivas para separarla de otras electrosecuencias (Ryder, 2002). El análisis de electrosecuencia tiene como objetivo extraer de los registros la mayor información geológica posible, identificando unidades verticales, depositacionales y eventualmente unidades estratigráfico secuencial continuas. Es un intervalo definido en las respuestas de los registros eléctricos que tiene características que son consistentes o varían consistentemente, y que son suficientemente distintivas para separarlas de otras electrosecuencias. El

presente estudio utiliza tres diferentes registros físicos simultáneamente: radioactividad, densidad y resistividad.

Se analizaron las respuestas de los registros eléctricos de radioactividad y densidad para los pozos U-905, U-895, U-913 y U-941; y adicionalmente a estos, el de resistividad para los pozos U-937 y U-938, en los cuales se observan características particulares que indican línea base, tendencias, forma de la curva, cambios abruptos y anomalías. Sin embargo estas características pueden o no tener significado geológico (Rider, 2002).

7.3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ELECTROFACIES Y ELECTROSECUENCIAS EN EL SISTEMA HIGHSTAND 2

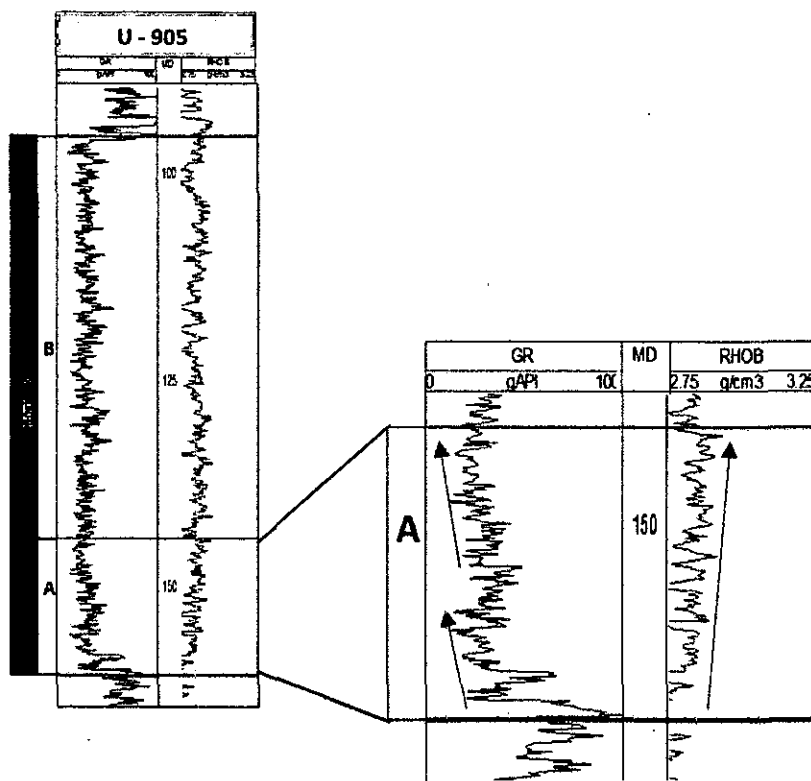
Para el reconocimiento de las electrofacies, se partió de integración de la descripción de las 8 litofacies identificadas en todos los núcleos, con las respuestas eléctricas de intervalos que presentan variaciones distintivas que los caracterizan de los demás. Dado que los eventos de mineralización han sido identificados en la base del sistema Highstand 2 (HST 2), se consideró importante el análisis de la Electrosecuencia A y la electrosecuencia sucesiva, la Electrosecuencia B, identificadas en cada uno de los pozos a las profundidades que se muestran en la Tabla 7.1.

HIGHSTAND	ELECTROSECUENCIA	POZOS					
		U-905	U-915	U-913	U-937	U-938	U-941
HST 2	B	106-132	96-142	108-142	38-65	46-74	76-90
	A	132-161	142-161	142-160	65-83	74-90	90-115

Tabla 7.1. Electrosecuencias identificadas en los pozos

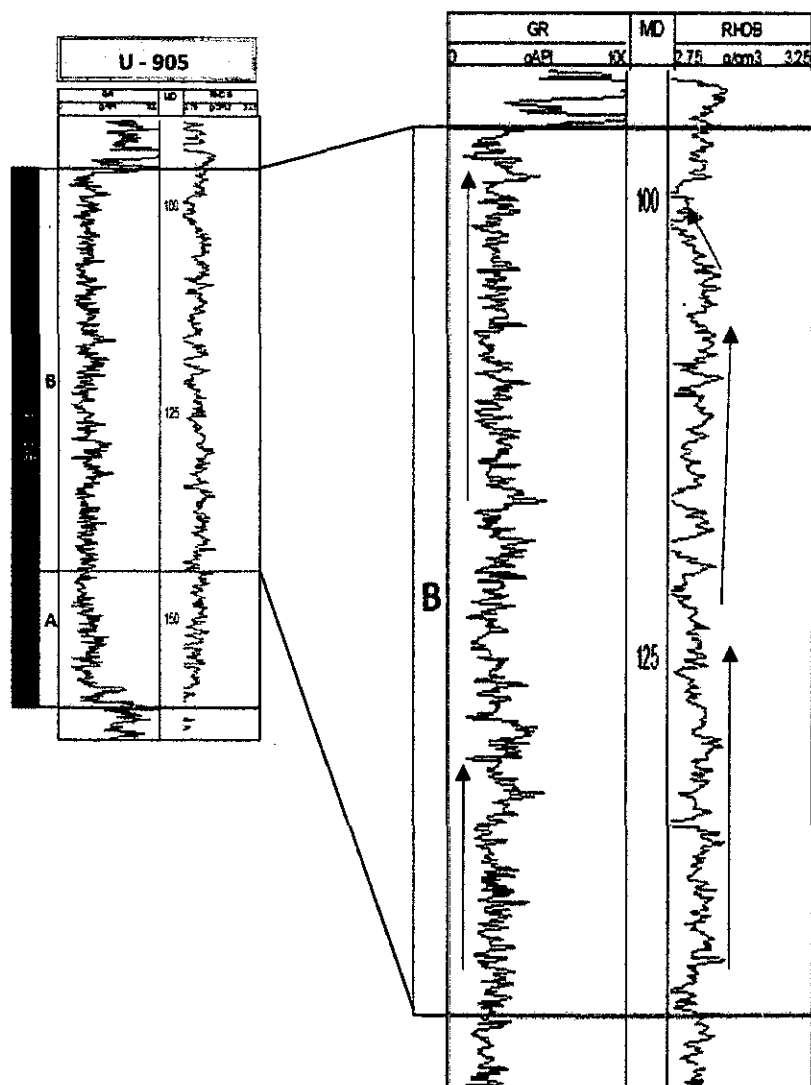
En base a la ubicación en el área de estudio, a continuación se describen las electrofacies de los pozos U-905, U-895 y U-913, ubicados en dirección NNE - SSW, los cuales no presentaron mineralización, así como la descripción de los pozos U-937, U-938 y U-941 ubicados en dirección NNE-SSW, los cuales si encontraron el cuerpo mineralizado. De abajo hacia arriba las electrofacies A y B identificadas en la electrosecuencia Highstand 2 de cada pozo son:

POZO U-905, HIGHSTAND 2



Electrosecuencia A: 161m - 142m. Está compuesta por dolomita laminada, masiva, a textura brecha, de grano fino a medio. Son dos electrofacies de disminución de radioactividad y aumento de densidad.

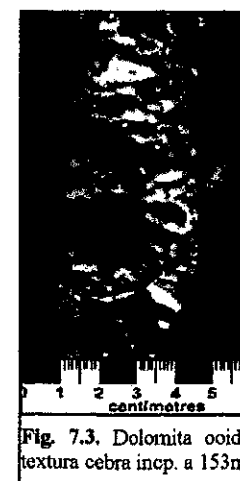
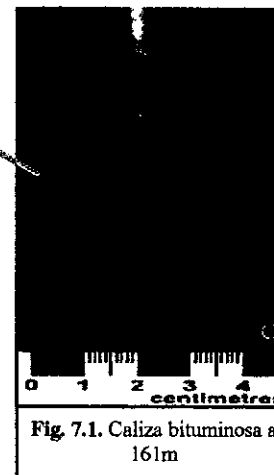
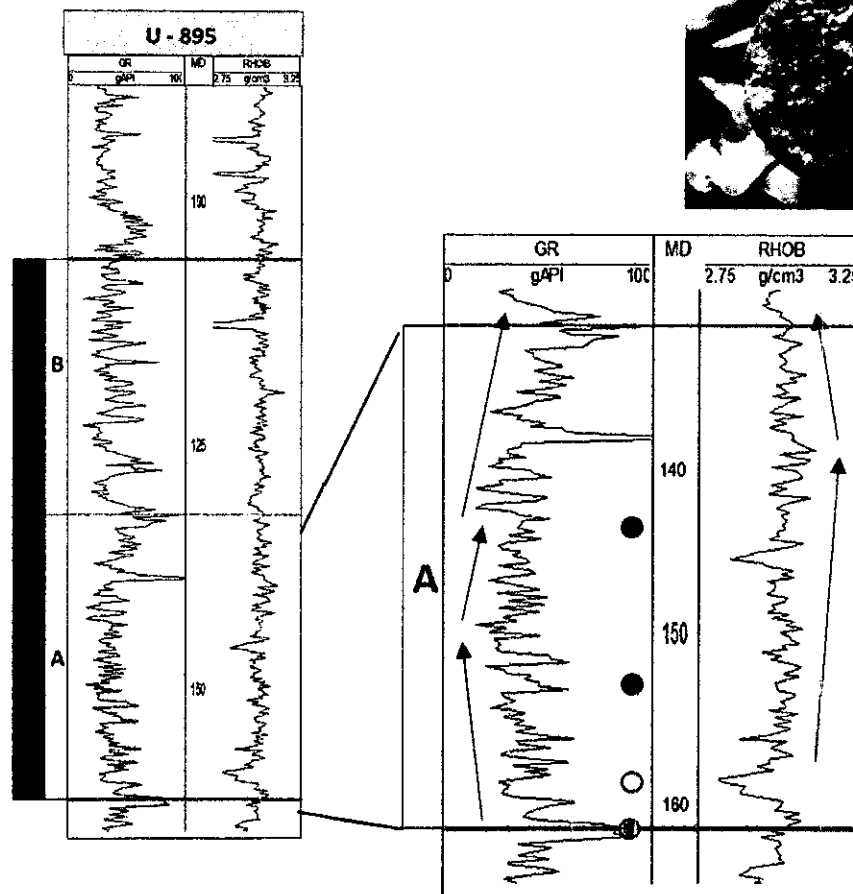
Interpretación: Patrón progradante en dos sub-intervalos para la radioactividad, reflejado en la litología de mudstone-wackstone a packstone. Debido al mayor predominio de dolomita laminar, se observa un aumento de densidad hacia la parte superior. El fluido mineralizante en todo el intervalo tiene valores de 5-10%.



Electrosecuencia B: 142m – 96m.

Son tres electrofacies de radioactividad invariable y dos electrofacies de densidad, la inferior invariable y la superior disminución de densidad en la parte superior. La litología lo conforma dolomitas masivas de grano grueso en la base y grano medio a fino en la parte media, la textura cebra favoreció la depositación de trazas de esfalerita (Sph <1%) a esta profundidad, y que se representa con valores homogéneos de radioactividad y variaciones de densidad con ligeros aumentos. La textura brechoide de las dolomitas observada hacia el tope de la electrofacies se ve representada por una disminución de radioactividad y por lo tanto un aumento en el tamaño de grano (medio-grueso), que también se manifiesta en las respuestas eléctricas de la densidad, las mismas que presentan disminución de sus valores, indicando mayor porosidad, propia de la litología observada en esta sección.

POZO U-895, HIGHSTAND 2



Electrosecuencia A: 161m – 132m. Inicia con la depositación de caliza bituminosa (bC) (Fig. 7.1) generada por el sucesivo aumento del nivel del mar (inundación) y la acumulación de materia orgánica, que se expresa con valores de alta radioactividad (hasta 75 API) y baja densidad a 161m. Posteriormente se observa disminución en los valores de radioactividad hasta 18 API a 150m, que representa la gradación de dolomitas masivas de grano muy fino a fino con textura brecha de disolución, y poco fluido mineralizante. Los fragmentos angulosos, fracturados pasan a dolomitas ooides masivas de grano fino a medio con textura cebra incipiente (Fig. 7.2).

El aumento de fluido mineralizante que se observa en la textura cebra (Fig. 7.3), hace notar la relación directa entre el mismo y la radioactividad. La electrofacies de la curva de radioactividad indica una forma cilíndrica aserrada con base y tope gradacionales. La electrofacies de la curva de densidad es cilíndrica doble. Así mismo la depositación se compone de intercalaciones de dolomitas ooides masivas con dolomitas de grano más fino en tendencia retrogradante (granodecreciente) en la depositación y por lo tanto un aumento rápido de la radioactividad hacia arriba. La disminución pronunciada de la densidad que se observa hacia el tope refleja la presencia de dolomita con desarrollo de cavidades pequeñas, típicas de una topografía kárstica hacia el tope de la electrosecuencia donde la densidad es más baja (Fig. 7.4).

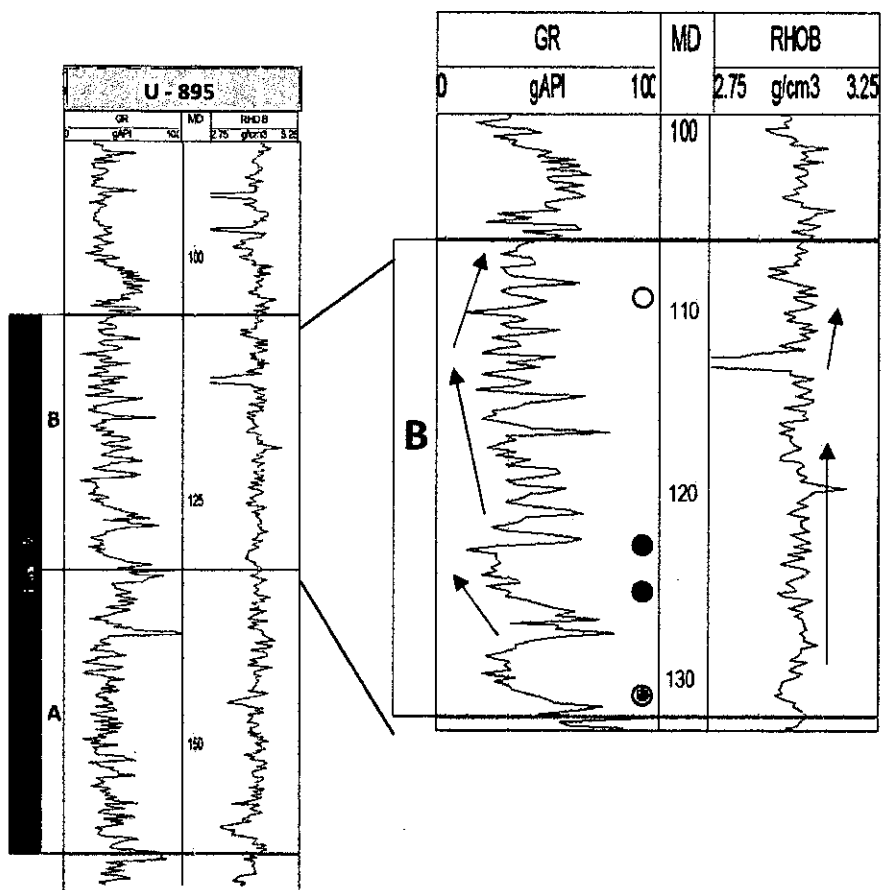


Fig. 7.5. Dol. oolite
textura brechoide a 130m

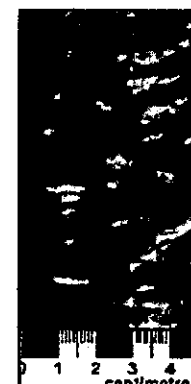


Fig. 7.6. Dol. oolite, textura
cebra incp. a 124m



Fig. 7.7. Dolomita
laminar, masiva a 122m



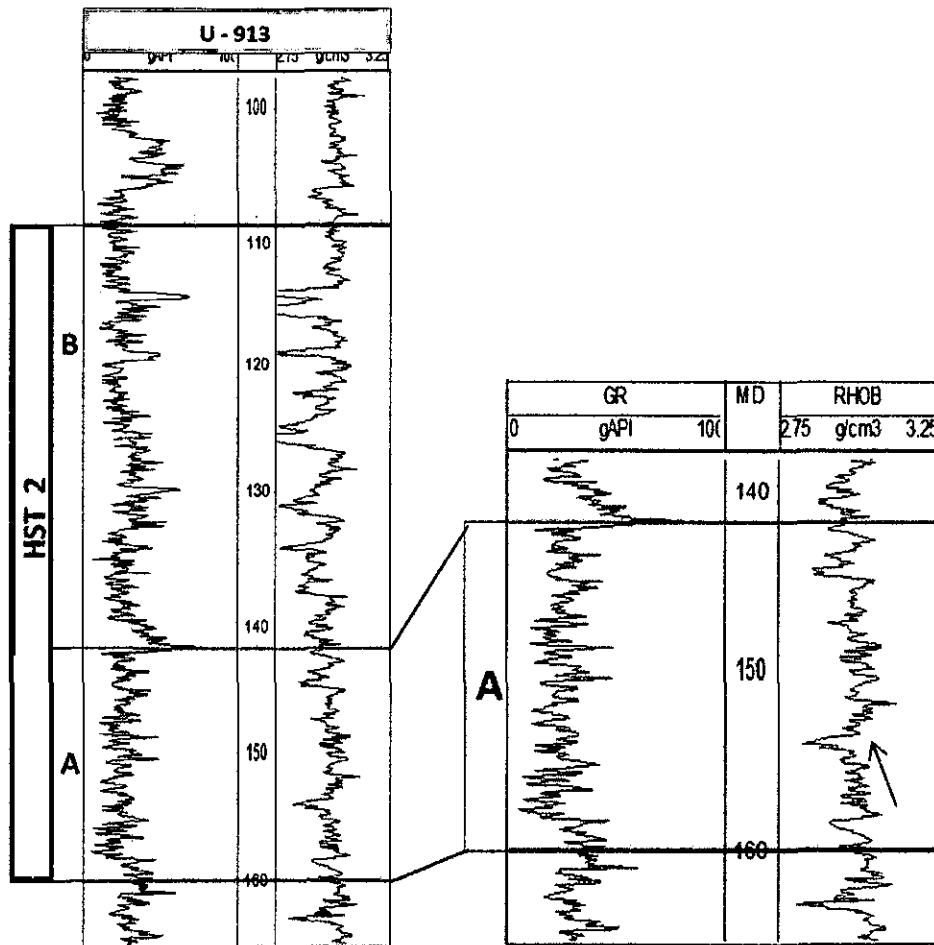
Fig. 7.8. Dolomita con
topografia kárstica 108m

Electrosecuencia B

(132m - 102.5m). Inicia con un cuerpo de dolomita oolítica, color gris claro, grano medio y textura brecha (Fig. 7.5), a la que sobreyace dolomita oolítica de textura cebra incipiente (Fig. 7.6). La curva de radioactividad es cilíndrica masiva de 60 a 20 API y densidad estable a 3.0 gr/cc. Lo sobreyace dolomita laminar no planar, de grano fino, que dependiendo de la cantidad de materia orgánica, muestra intercalaciones de colores gris claro y gris oscuro (Fig. 7.7) y dolomita masiva brechoide, cebra incipiente, kartsismo y laminación.

El carácter del registro de radioactividad cambia, a aserrada sin tendencia. Lo mismo para la densidad, aserrada con menores fluctuaciones y sin tendencia. A partir de 114m hasta el tope, los valores de radioactividad van en aumento ya que se observan intercalaciones de dolomita masiva y caliza con laminación cruzada, de color gris clara-gris oscura debido al mayor o menor contenido de materia orgánica, que ocasiona también un aumento de densidad de 2.95gr/cc a 3.2gr/cc, así mismo la presencia de dolomita con topografía kárstica (Fig. 7.8) cerca al tope, es detectada por el Registro de Densidad a 108m.

POZO U-913, HIGHSTAND 2,



Electrosecuencia A

(160m-142m). Inicia en 160m con una sucesión de dolomita masiva, gris oscuro de grano muy fino (wackstone), que va gradando a dolomita oolide, gris claro de tamaño fino a medio, ocasionalmente grueso, con 5 a 10% de fluido mineralizante. También se observa un alto grado de fracturamiento en la roca, dando como resultado la disminución de la densidad de 3.0 gr/cc a 2.8 gr/cc. Hacia el tope la litología cambia a dolomita gris, de grano fino y de textura brecha con un ligero incremento de fluido mineralizante, con valores moderados de radioactividad promedio de 25 API y con valores de densidad aun influenciados por la presencia de fracturas.

Electrofacies U-913

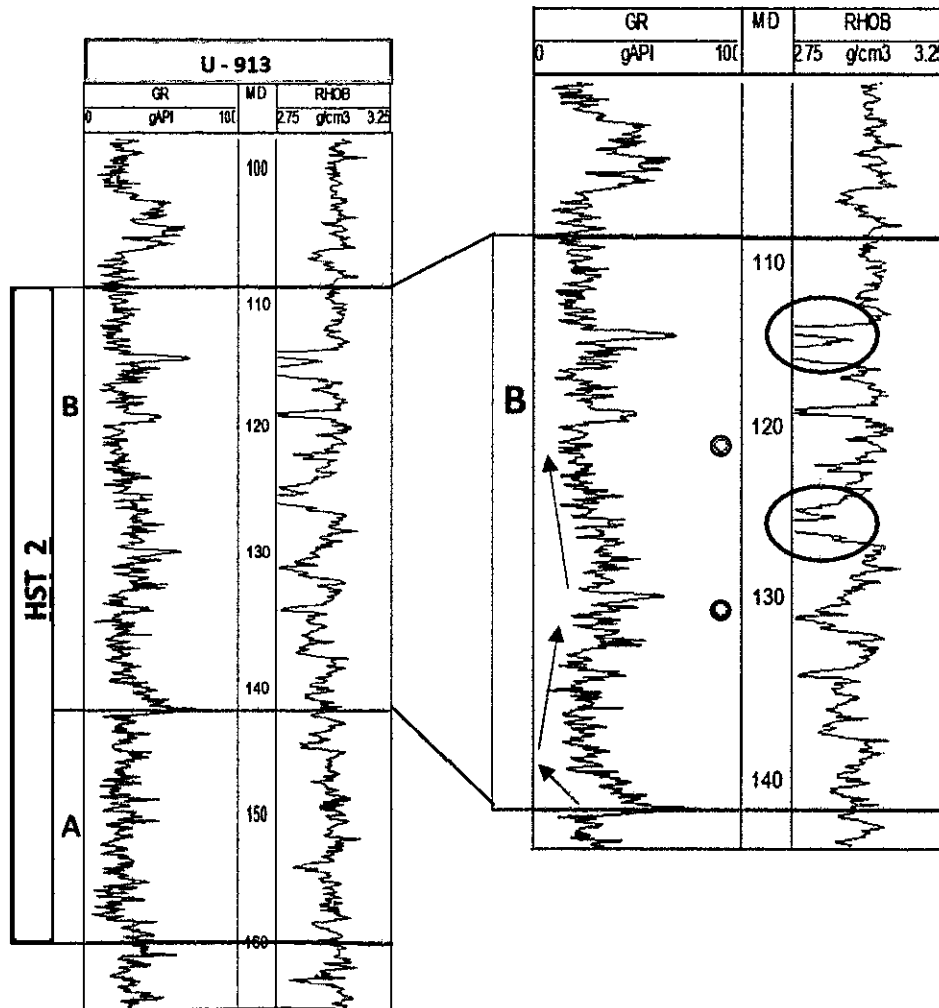


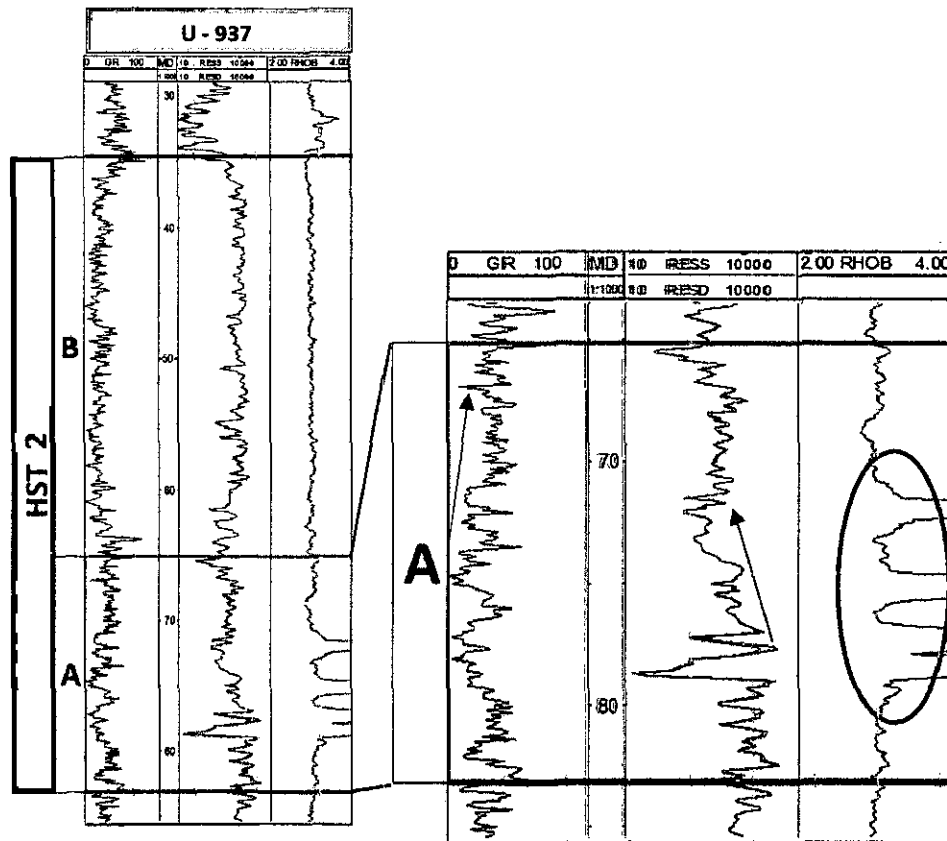
Fig. 7.9. Dolomita ooide, gris claro
textura brecha de colapso a 121m



Fig. 7.10. Dolomita gris con
brecha craquelada e
intensamente fracturada a 131m

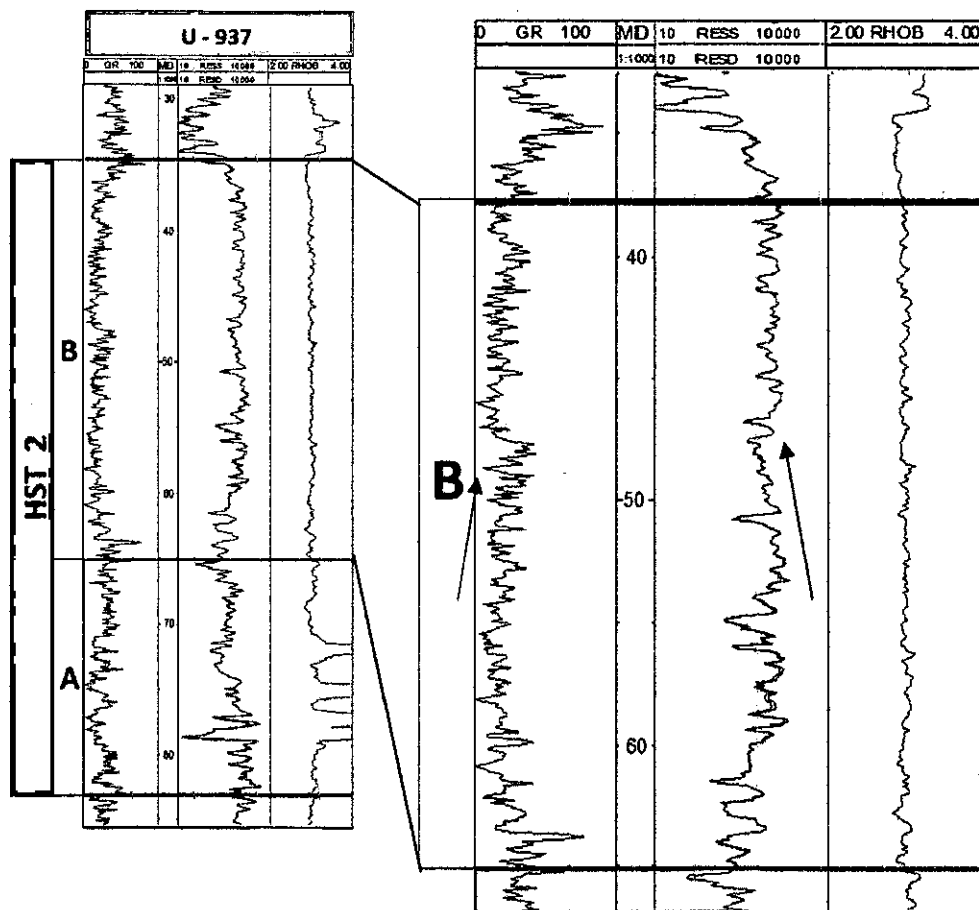
Electroseceuncia B: 142m-108m. Consta principalmente de dolomita ooide, gris, de grano fino a medio, textura brechoide (Fig. 7.9). La presencia de dolomita gris con brecha craquelada e intensamente fracturada (Fig. 7.10), ocasiona caídas abruptas de densidad y aumento de radioactividad.

POZO U-937, HIGHSTAND 2



Electrofacies A

Inicia en 83m con dolomita fina que rápidamente pasa a dolomita oolide, blanca, de grano fino, sin fluido mineral. Este intervalo representa la antesala de la mineralización cuya electrofacies reflejan formas cóncavas y aserradas de las curvas de radioactividad y resistividad. El cuerpo mineralizado de esfalerita, galena y pirita, se presenta de 80.5m a 70.5m depositado principalmente en dolomita oolide, blanca, grano-creciente de fino a grueso, con 15% de fluido mineralizante, que muestra forma convexa en la curva de radioactividad, con valores de 10 API a 30 API; resistividades varían de 2000 a 200 ohm-m por la presencia de galena y pirita (minerales conductivos) que atenúa los valores altos de la esfalerita y tres intervalos bien definidos de muy alta densidad (mayor a 4 gr/cc) (círculo rojo). Hacia el tope (65m) se observa dolomita gris de textura brechosa, de tamaño de grano medio a grueso, ocasionalmente con topografía kárstica y con fluido mineralizante de 5 a 10%.



Electrofacies B

Intervalo de 70.5 a 38m, presenta dolomita gris a gris blanquecino de textura brechosa, cuyo fluido mineralizante disminuye de 15 a 0%, con presencia de trazas de galena y pirita que ocasiona disminución de radioactividad de 35 API a 18 API en tres ciclos, que son reflejados en los rangos de resistividad de 200 a 1500 Ohm-m. La densidad en cambio permanece invariable a 3.00 g/cc.

POZO U-938, HIGHSTAND 2

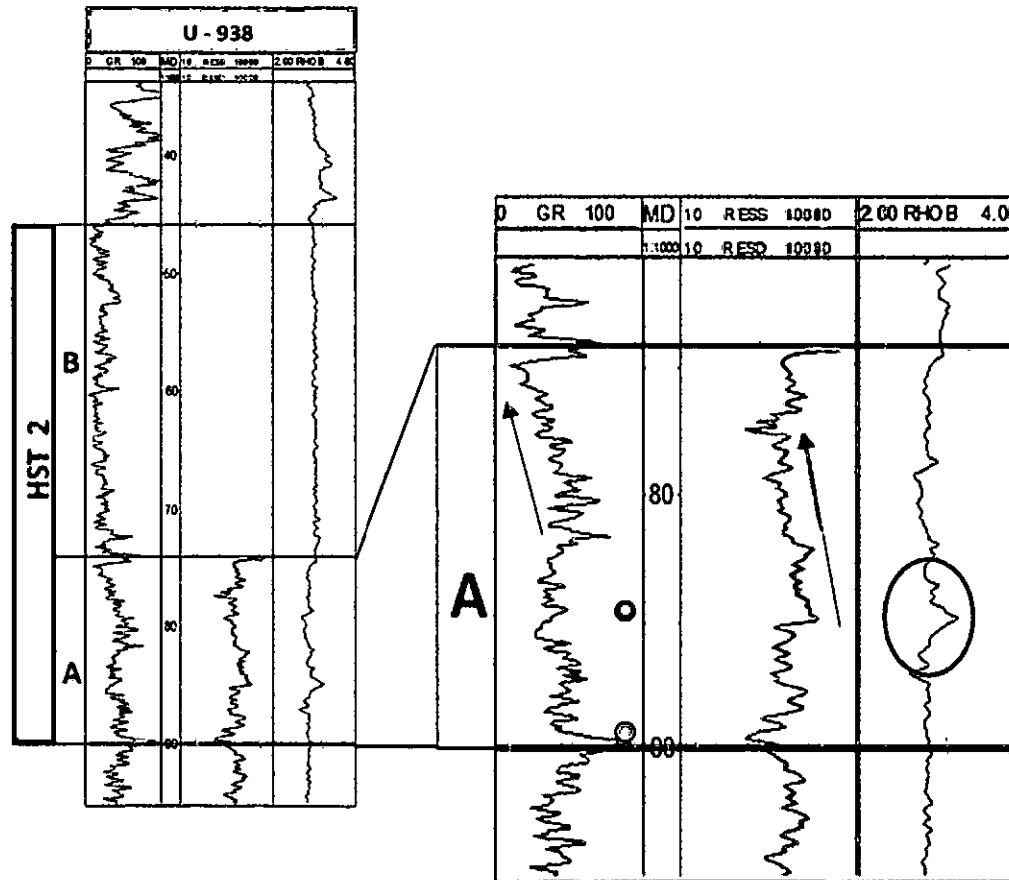


Fig. 7.11. Dolomita laminada a 89m

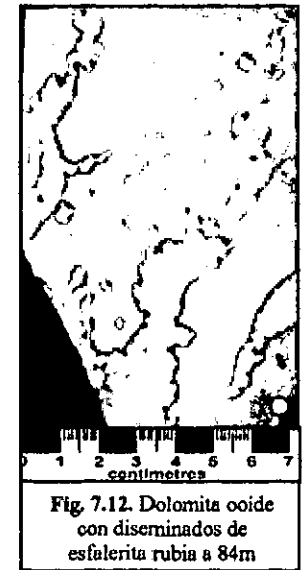


Fig. 7.12. Dolomita oolide con diseminados de esfalerita rubia a 84m

Electrosecuencia A (90m-74m)

La base 90-86m, representa la “Antesala de la mineralización”, se caracteriza en los registros eléctricos por valores altos de radioactividad con ligero aumento de resistividad. Sucesivamente hay un descenso rápido de densidad para aumentar abruptamente de 2.75 g/cm³ a 3.20 g/cm³. Presenta intercalaciones de dolomita laminada, color gris blanquecino, con fluido mineralizante de 5% (Fig. 7.11) a dolomita ooide, color gris blanquecino, fluido mineralizante de hasta 15%; y dolomita ooide, que contiene bandas de esfalerita rubia (Fig. 7.12). La “Zona mineralizada” con presencia de esfalerita, galena y pirita, que aparecen en bandas con 10% de fluido mineralizante blanco. La resistividad que debería ser alta por la esfalerita, se atenúa por los minerales galena y pirita, aun así muestra los tres “picos” de cada banda. La densidad es alta porque los tres sulfuros son densos.

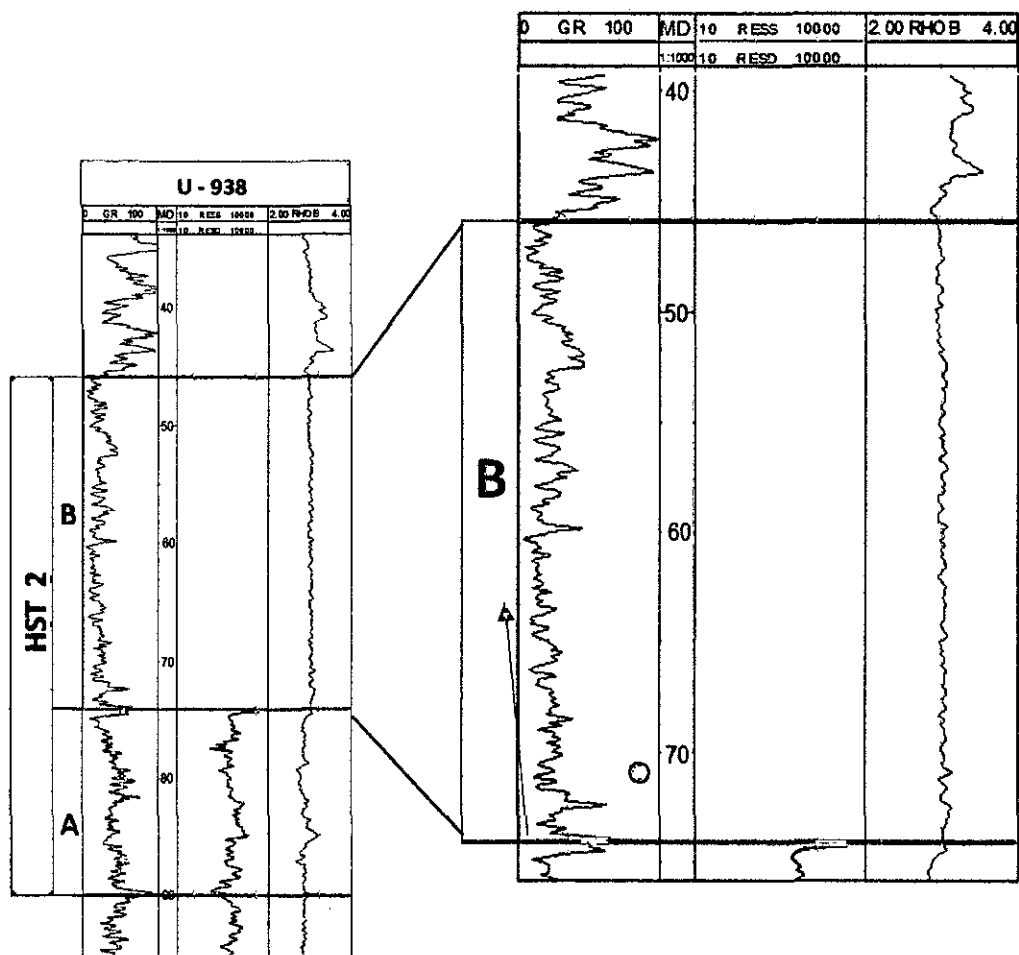


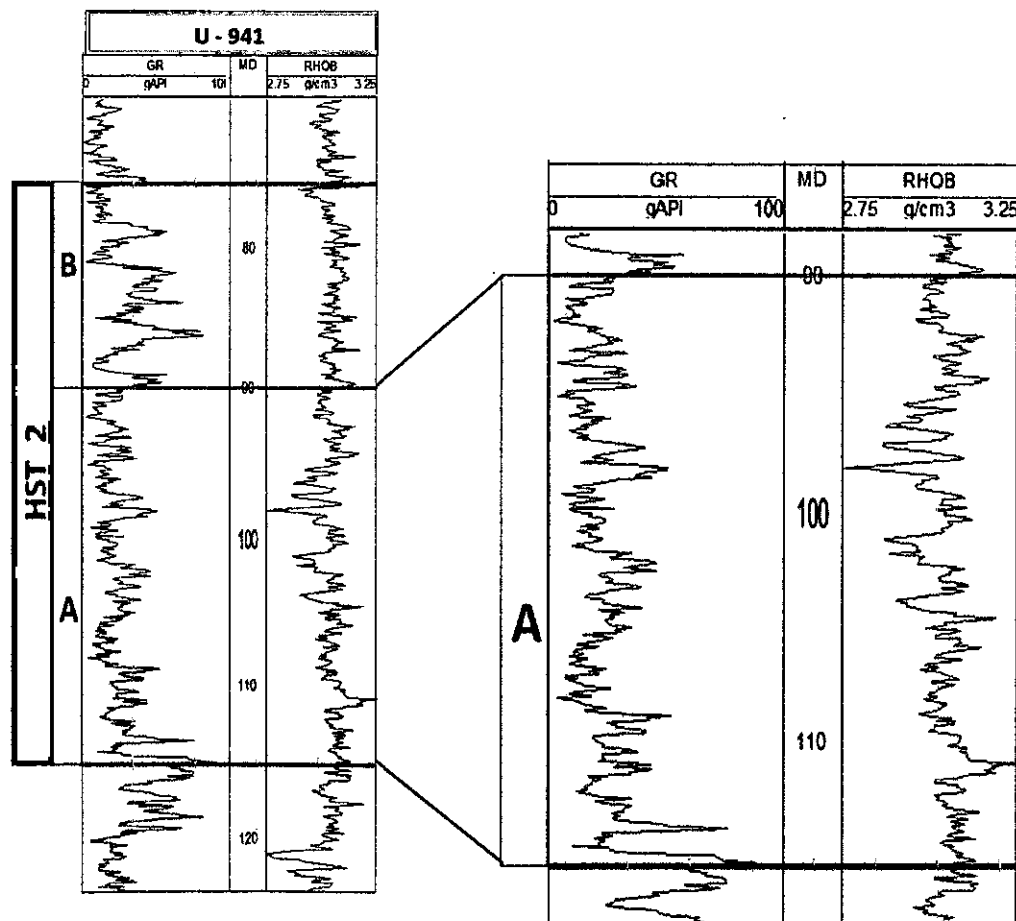
Fig. 7.13. Dolomita brechosa con abundantes venas de fluido mineralizante a 71m

Electrosecuencia B

Compuesta de una sucesión de dolomita gris clara a blanca, brechosa, con abundantes venas blancas de fluido mineralizante, de grano medio (Fig. 7.13), que pasa gradualmente a dolomita laminada clara y caliza de grano fino. Más arriba la dolomita vuelve a ser blanca, craquelada, laminada y porosa.

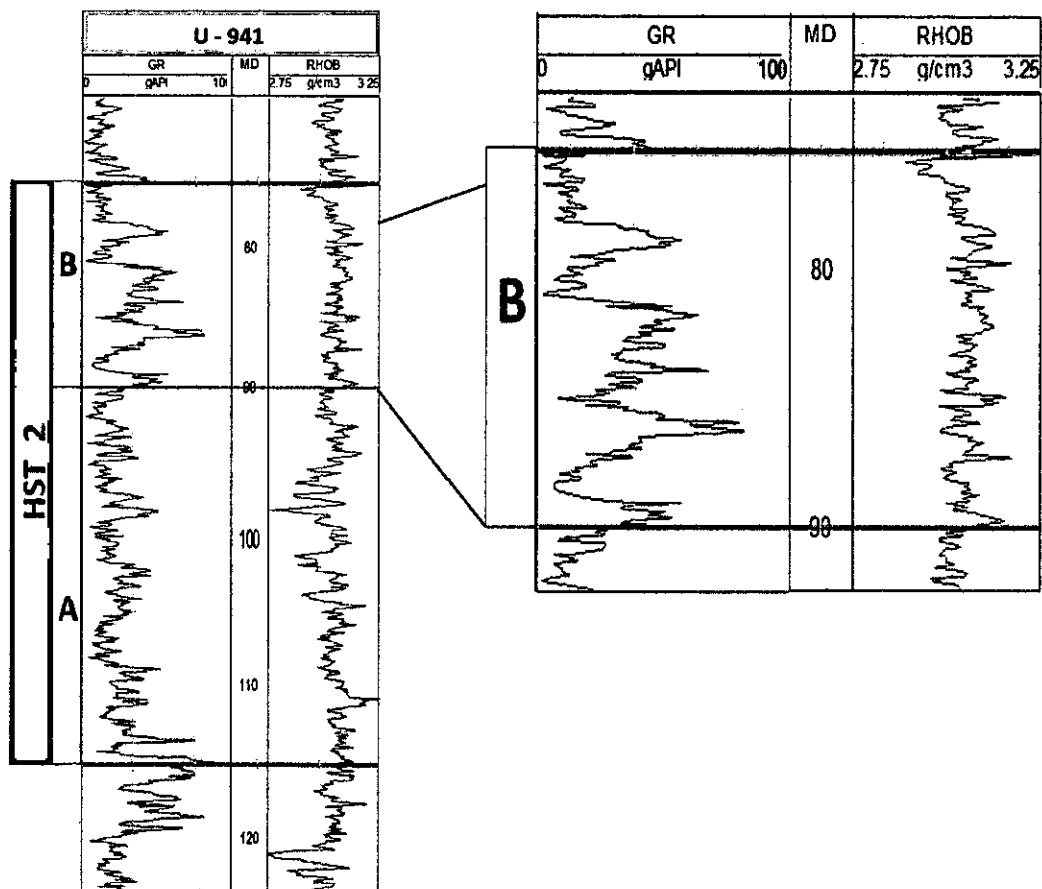
La porción inferior brechosa tiene radioactividad baja y densidad constante e igual a 3g/cm^3 . La parte superior, craquelada asume un ligero aumento de radioactividad y una disminución de densidad a 2.95 g/cm^3 .

POZO U-941, HIGHSTAND 2



Electrosecuencia A: 115m-90m. Inicia con intercalaciones de dolomita gris a gris claro, de textura brechoide, grano medio, ocasionalmente grueso con 5 a 10% de fluido mineralizante; y pequeños intervalos de roca volcánica mezclado con dolomita.

La radioactividad a lo largo de “somerización” (disminución de profundidad de agua) disminuye de 80 API a 15 API mientras que la densidad disminuye en menor escala. Hay intervalos de roca volcánica caracterizados por valores de radioactividad altos (80 API), así como de densidad (3.15 gr/cc), sin embargo los valores máximos de densidad corresponden a la presencia de mineralización (trazas de esfalerita) a 111m y 105m, que no se desarrolló bien debido a las emisiones volcánicas que impidieron la buena iluminación solar. La caída de densidad que se observa de 98 a 95m representa el alto grado de fracturamiento de la roca.



Electrosecuencia B (90m-76m)

Comprende sucesiones de dolomita ooide, color gris claro, de tamaño fino a medio, textura brechoide; con pequeñas pero bien definidos estratos de roca volcánica andesita.

Esta sección muestra respuestas eléctricas muy variables, debido a la presencia de roca volcánica en tres subintervalos (89m, 86m y 78m), que generan alta radioactividad hasta de 95 API y aumento de densidad; y de dolomita ooide cuya radioactividad baja hasta 15 API. En general la densidad varía de 2.95 hasta 3.15 gr/cc a lo largo de todo el intervalo.

7.4. ANALISIS ESTADISTICO

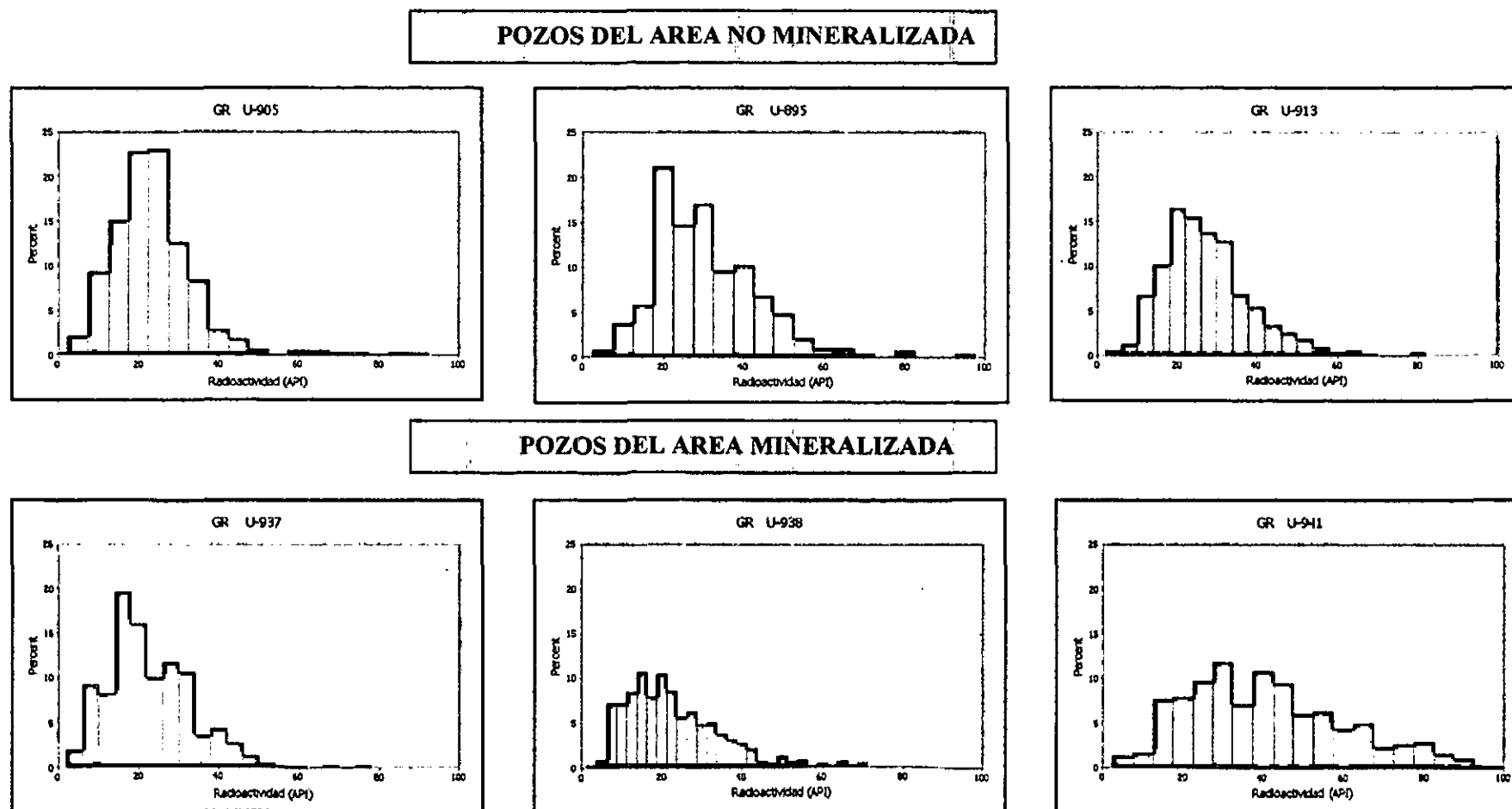
El análisis estadístico se realizó con el software Minitab 17®, con datos de Radioactividad, Resistividad y Densidad de la Secuencia 2 para la elaboración de los diagramas de frecuencia y específicamente del Sistema Highstand 2 para la elaboración de Cross-Plots, posiciones estratigráficas en las que se desarrolló la mineralización.

En los diagramas de frecuencias de la radioactividad en la Secuencia 2, en los que se destacan las características más importantes de cada pozo, que se ve reflejada en la mayor frecuencia de datos que indican determinados tipos de facies.

La integración de las variables obtenidas de los Registros eléctricos mediante la elaboración de Cross-Plots en la zona mineralizada y no mineralizada, permitió establecer relaciones entre las mismas. Así también gracias al análisis de la representación geométrica de las graficas se pudieron identificar rango de datos y tendencias para cada zona, cuya interpretación se asoció con las facies observadas, con lo cual se obtuvo valiosa información para el reconocimiento de zonas mineralizadas.

DIAGRAMAS DE FRECUENCIA DE LOS REGISTROS DE RADIOACTIVIDAD EN LA SECUENCIA 2

GRÁFICO 1. DIAGRAMAS DE FRECUENCIA DE RADIOACTIVIDAD DE LA SECUENCIA 2



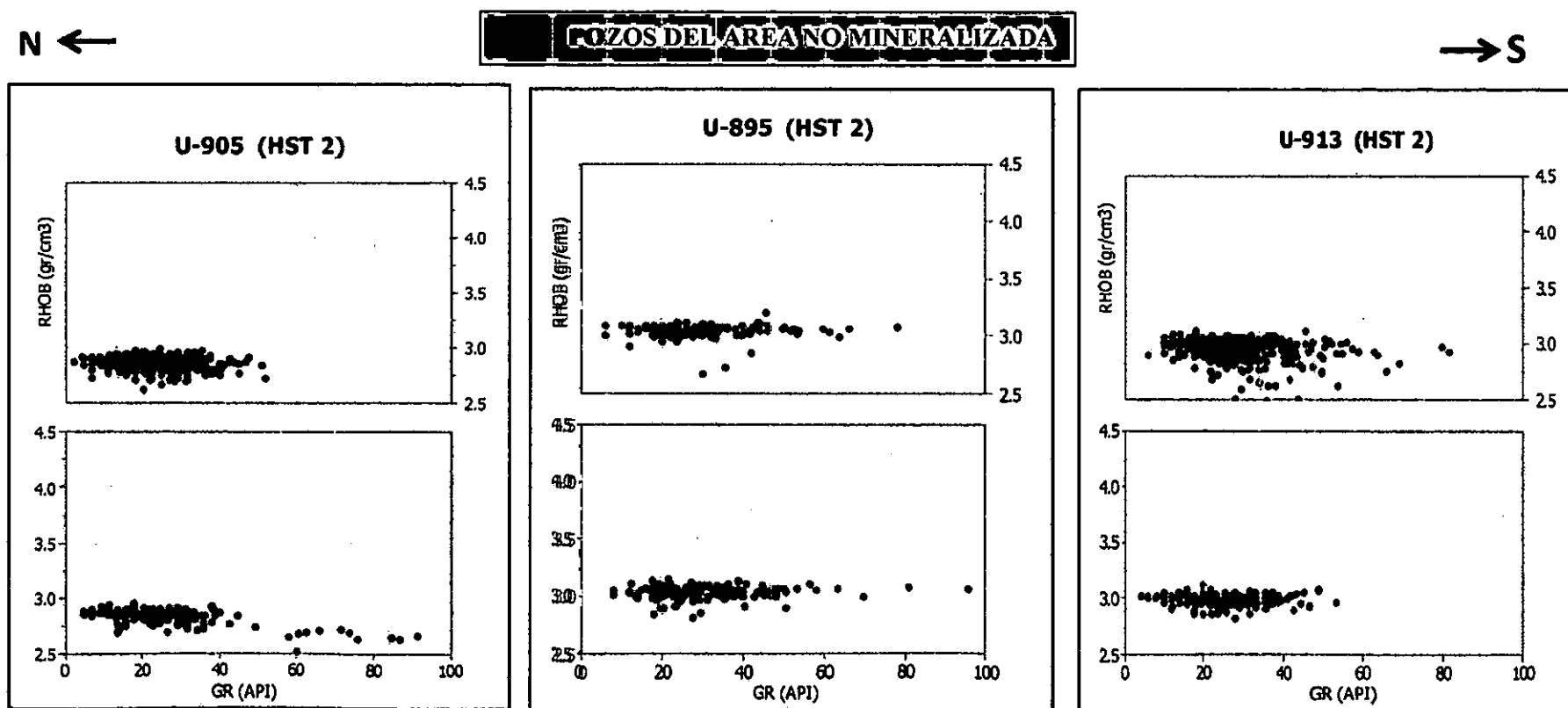
La variación de radioactividad de los pozos U-905, U-895, U-913, U-937 y U-938 en una secuencia estratigráfica muestra una distribución de frecuencia No Normal sesgada hacia la derecha. La media de los valores oscila entre 23 y 30 API. La excepción a la regla esta en el pozo U-941 que tiene una distribución Polinómica con una media de 43 API. Es importante hacer este análisis porque una distribución No Normal está sujeto a un tratamiento estadístico y matemático menos determinístico que una distribución Normal o Gausiano.

POZO	MEDIA	MEDIANA
U-895	30.7	28.1
U-905	23.6	22.5
U-913	27.7	25.9
U-937	22.8	21.8
U-938	23.1	20.9
U-941	43.3	40.1

Tabla 7.2. Media Aritmética y Mediana de los valores de Radioactividad de la Secuencia 2

CROSS-PLOTS DE LOS REGISTROS DE RADIOACTIVIDAD-DENSIDAD EN EL SISTEMA HIGHSTAND 2

GRÁFICO 2. CROSS-PLOTS DE RADIOACTIVIDAD-DENSIDAD DEL SISTEMA HIGHSTAND 2 DE LOS POZOS U-905, U-895, U-913 (ELECTROSECUENCIAS A Y B)



GEOMETRÍA

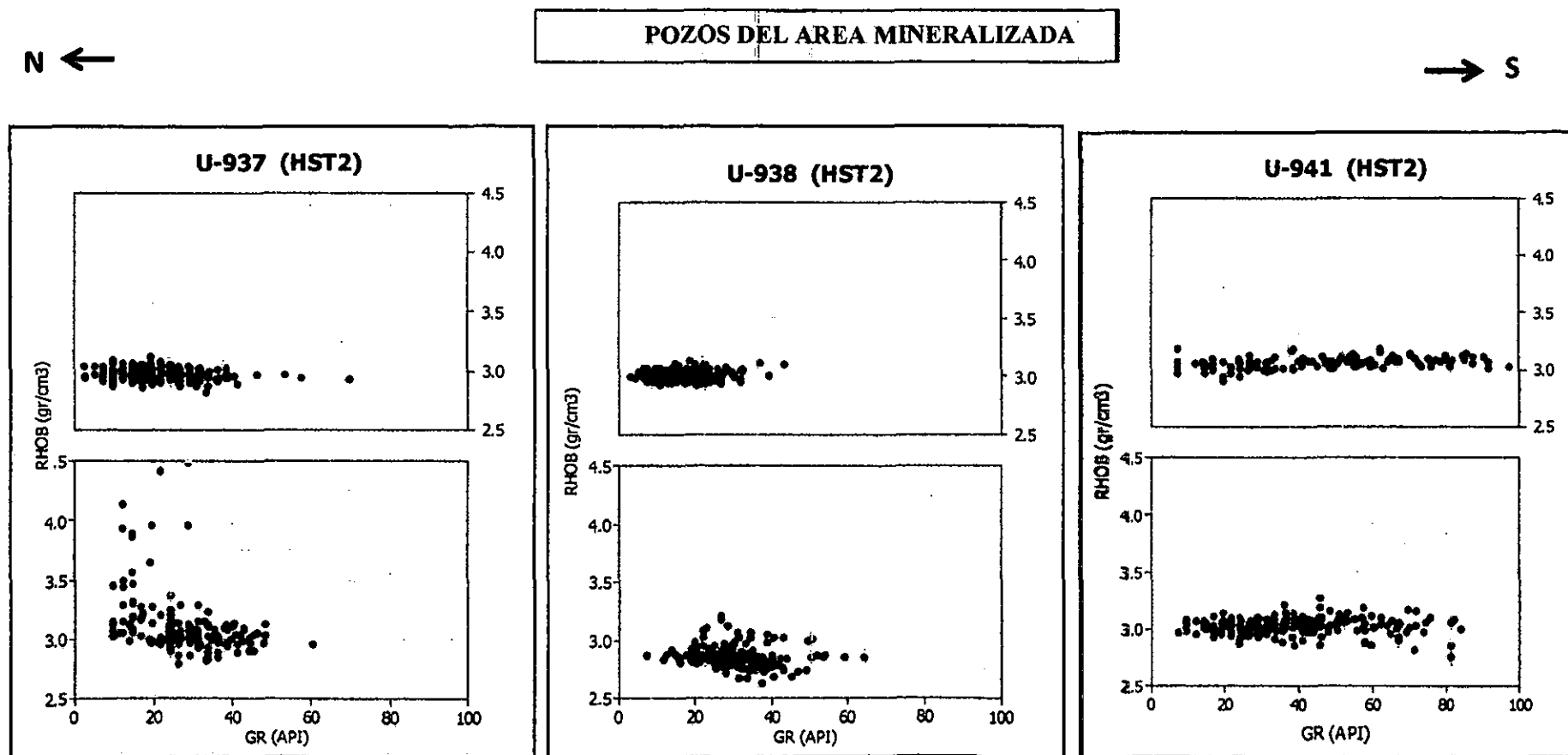
Los pozos en el área no mineralizada tienen una dirección aproximada N-S. La representación grafica de las variables de Radioactividad (Eje X) y Densidad (Eje Y) de los pozos U-905, U-895 y U-913, da como resultado elipses con eje horizontal elongado. Se observa de manera general que los valores más altos de radioactividad predominan en los pozos U-895 y U-913, y que los valores de densidad muestran dos tendencias diferentes, ya que en el pozo U-905 se mantienen por debajo de 3 gr/cm³ para ambas electrosecuencias, mientras que en los otros dos pozos la tendencia es por encima de este valor.

INTERPRETACIÓN

Existe una barrera de densidad entre el pozo U-905 y los otros dos pozos, debido a un cambio de facies, que se corrobora con la descripción sedimentológica. El pozo U-905 posee predominantemente dolomitas de texturas brechas de disolución, lo que causa los valores bajos de densidad, mientras en los pozos U-895 y U-913 predominan las dolomitas de texturas cebra incipiente con valores altos de densidad. Así mismo los valores bajos de densidad (2.7 gr/cm³) en la electrosecuencia B del pozo U-913 se deben a la presencia de dolomita craquelada.

Los valores altos de radioactividad que se observan en los pozos U-895 y U-913, se debe a la predominancia de facies caliza bituminosa y pares de calizas ricas y pobres en materia orgánica (couplets), así como dolomitas laminadas con mayor cantidad de fluido mineralizante. En menor proporción, la electrosecuencia A del pozo U-905, también muestra valores elevados de radioactividad, que reflejan la presencia de dolomitas laminadas y fracturadas.

GRÁFICO 3. CROSS-PLOTS DE RADIOACTIVIDAD-DENSIDAD DEL SISTEMA HIGHSTAND 2 DE LOS POZOS U-937, U-938, U-941 (ELECTROSECUENCIAS A Y B)



GEOMETRÍA

Los tres pozos U-937, U-938 y U-941, tienen mineralización de sulfuros de esfalerita, galena y pirita. En la representación graficas de sus variables de radioactividad y densidad, se observan elipses con ejes sub-horizontales en los pozos U-937 y U-938 y elipses con ejes horizontales bastante elongados en el pozo U-941.

En general se observan valores muy elevados de densidad en los pozos U-937 y U-938 en ambas electrosecuencias, así como valores de radioactividad de hasta 100 API y densidad constante en el pozo U-941.

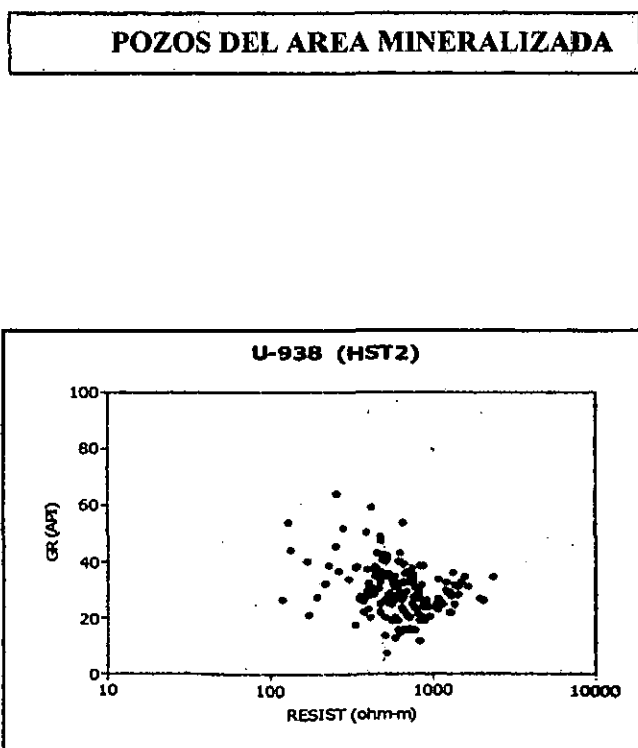
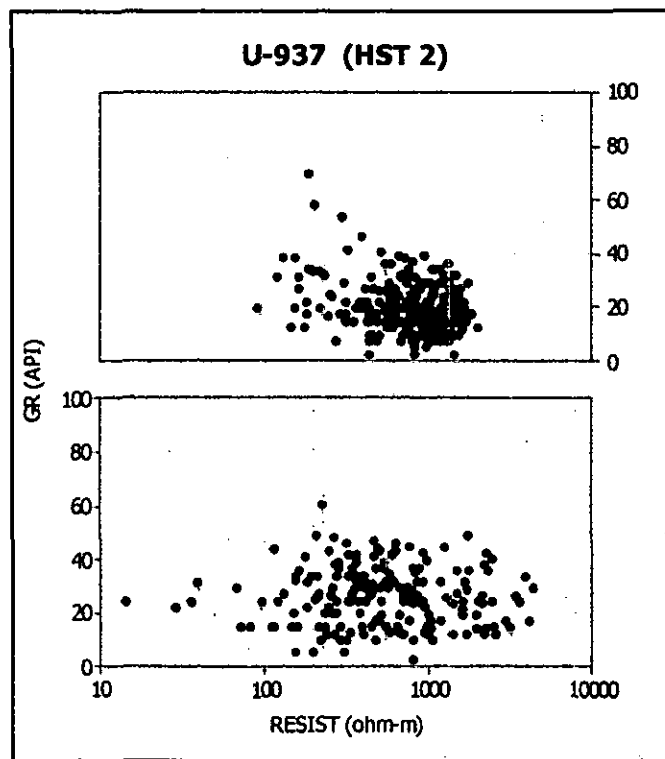
INTERPRETACIÓN

La tendencia en la distribución de datos en ambas electrosecuencias del pozo U-937 tiene marcada diferencia, ya que solo en la parte baja del Highstand 2 (Electrosecuencia A) se presenta mineralización, que está representada por valores muy elevados de densidad, que corresponden a facies de dolomita ooide de textura cebra con sulfuros de esfalerita, galena y pitita. Así también en el pozo U-938 se observa incremento en los valores de densidad, que si bien no llegan a ser tan elevados como el pozo anteriormente mencionado, logran tener particular importancia por la presencia de facies de dolomita ooide bandeada con esfalerita rubia. En el pozo U-941 también se presentaron diseminados de esfalerita, que no llegan a tener mayor relevancia, pero que confirman que la presencia del cuerpo mineralizado en la zona es común en la Electrosecuencia A de los tres pozos.

En cuanto a la radioactividad, se observa un incremento gradual de los valores hacia el SSW, que se ve reflejado en la descripción sedimentológica del pozo U-941, que describe presencia de rocas volcánicas, que dan como resultado valores muy elevados.

De manera general, las variaciones de radioactividad, de acuerdo a las descripciones sedimentológicas de los pozos, corresponden a facies de dolomita oolítica (valores bajos) y roca volcánica (valores altos). En cuanto a la densidad, la presencia de sulfuros de esfalerita, galena y pirita, otorgan características muy distintivas (densidad elevada) en los pozos U-937 y U-938, que son de valioso aporte para el reconocimiento del cuerpo mineralizado, así como de intervalos con topografía kárstica (densidad baja).

GRÁFICO 4. CROSS-PLOTS DE RESISTIVIDAD - RADIOACTIVIDAD DEL SISTEMA HIGHSTAND 2 DE LOS POZOS U-937, U-938, U-941 (ELECTROSECUENCIAS A Y B)



GEOMETRÍA

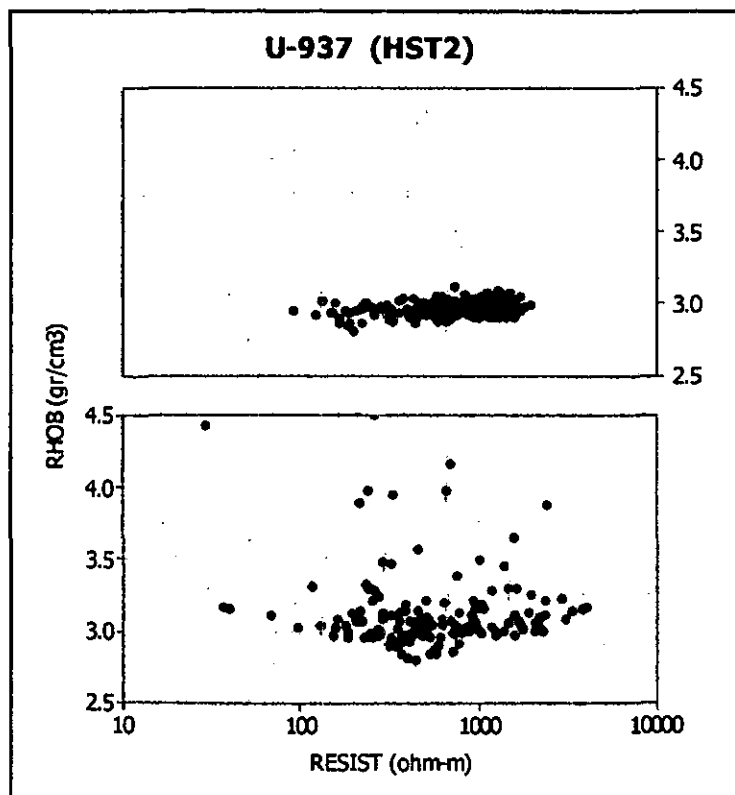
La gráfica de dispersión de las variables de Resistividad y Radioactividad en los pozos U-937 y 938 presentan elipses completa en el primero y un círculo en el segundo para la Electrosecuencia A. El pozo U-937 posee una elipse incompleta en la Electrosecuencia B y no se tuvo registro de resistividad en el pozo U-938 para esta electrosecuencia.

INTERPRETACIÓN

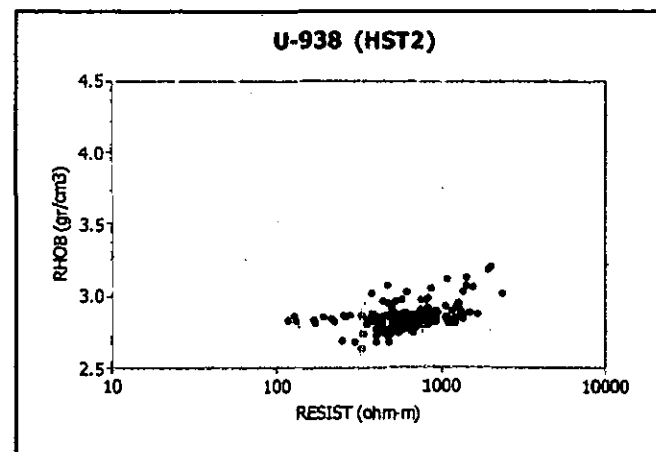
Los valores de resistividad nos permiten discriminar los tipos de sulfuros que se encuentren en cada electrosecuencia, ya que el aumento o disminución de los mismos dependerá de la presencia de sulfuros de esfalerita o de sulfuros de galena y pirita respectivamente.

Las facies que contienen esfalerita, se ve reflejadas en los valores elevados de resistividad en la Electrosecuencia A de ambos pozos, cuya respuesta se ve un tanto atenuada por la presencia de galena y pirita, que reducen los valores, sin dejar de ser característicos del cuerpo mineralizado. Por lo tanto se deduce que la mineralización de sulfuros de esfalerita fue mayor en el pozo U-937 en la Electrosecuencia A, y ésta siguió en parte en la Electrosecuencia B.

GRÁFICO 5. CROSS-PLOTS DE RESISTIVIDAD - DENSIDAD DEL SISTEMA HIGHSTAND 2 DE LOS POZOS U-937, U-938, U-941 (ELECTROSECUENCIAS A Y B)



POZOS DEL AREA MINERALIZADA



GEOMETRÍA

La comparación de los ejes del cross-plot Resistividad - Densidad en los pozos U-937 y U-938, dan como resultado una superposición de un valor mayor del eje del pozo U-937 sobre el eje del pozo U-938 de la Electrosecuencia A. Los valores en la Electrosecuencia B en el pozo U-937 son constantes y elongados.

INTERPRETACIÓN

La Electrosecuencia A del pozo U-937, presenta sulfuros de esfalerita, galena y pirita, las mismas que se ven reflejadas en los valores altos de densidad, y en las variaciones de los valores de resistividad, los mismos que permiten diferenciar los tipos de sulfuros, ya que la esfalerita, tiende a mantenerlo elevado mientras que así la galena y pirita tratan de bajarlo.

La electrosecuencia B del mismo pozo, muestra un comportamiento totalmente distinto, con una ligera tendencia de proporcionalidad directa entre las variables.

De manera general se puede concluir que las rocas del pozo U-937 han albergado las mejores leyes de sulfuros de Zn, Pb y Fe (esfalerita, galena y pirita) que las rocas del pozo U-938.

CAPÍTULO VIII

IMPLICACIONES GEOLÓGICAS DE LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS ASISTIDOS CON LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO

El método de interpretación de procesos sedimentológicos y las secuencias estratigráficas ha sido posible con la descripción sedimentológica de núcleos a nivel macroscópico, y la interpretación geológica de los registros geofísicos de pozos de tres propiedades físicas incompatibles como son la radioactividad, la resistividad y la densidad.

Las variaciones eustáticas detectadas en la roca y en el registro de radioactividad sugieren procesos geológicos que por ser de carácter regional son seguidas por decenas de kilómetros, por lo tanto el modelo encontrado en el presente estudio es una herramienta de exploración para los prospectos identificados en la Cordillera Oriental del Perú Central.

No hay duda de la formación de un banco de plataforma en la vecindad de los pozos U-937 y U-938. Otro banco de plataforma se formó medio kilómetro al sur, en las inmediaciones del pozo U-941 (Fig. 4.20. Diagrama indicando las geometrías depositacionales en el sistema Highstand). Sin embargo, la formación de este banco fue deteriorado por las emisiones volcánicas que impidieron la necesaria buena iluminación solar para la producción de carbonatos. La parte media entre ambos pozos pertenece al cinturón de facies Pendiente y la roca se compone de carbonato de grano fino tipo wackstone, creando una barrera de permeabilidad.

La identificación de bancos progradantes de plataforma, las barreras de permeabilidad y las fallas con saltos de 20m son los principales controles para ubicar las estructuras confinadas que contienen mineralización tipo Mississippi Valley en San Vicente (Fig. 8.1).

Esta situación no se ha encontrado en los otros tres pozos ubicados hacia el este. Los valores encontrados hacen suponer la existencia de una barrera de densidad entre los pozos U-937 y U-905. Por otro lado, la posición estratigráfica de los pozos U-895 y U-913 (Fig. 8.2), los coloca a éstos fuera de la orientación del banco de plataforma.

SECCION I - POZOS U-941 U-938 U-937

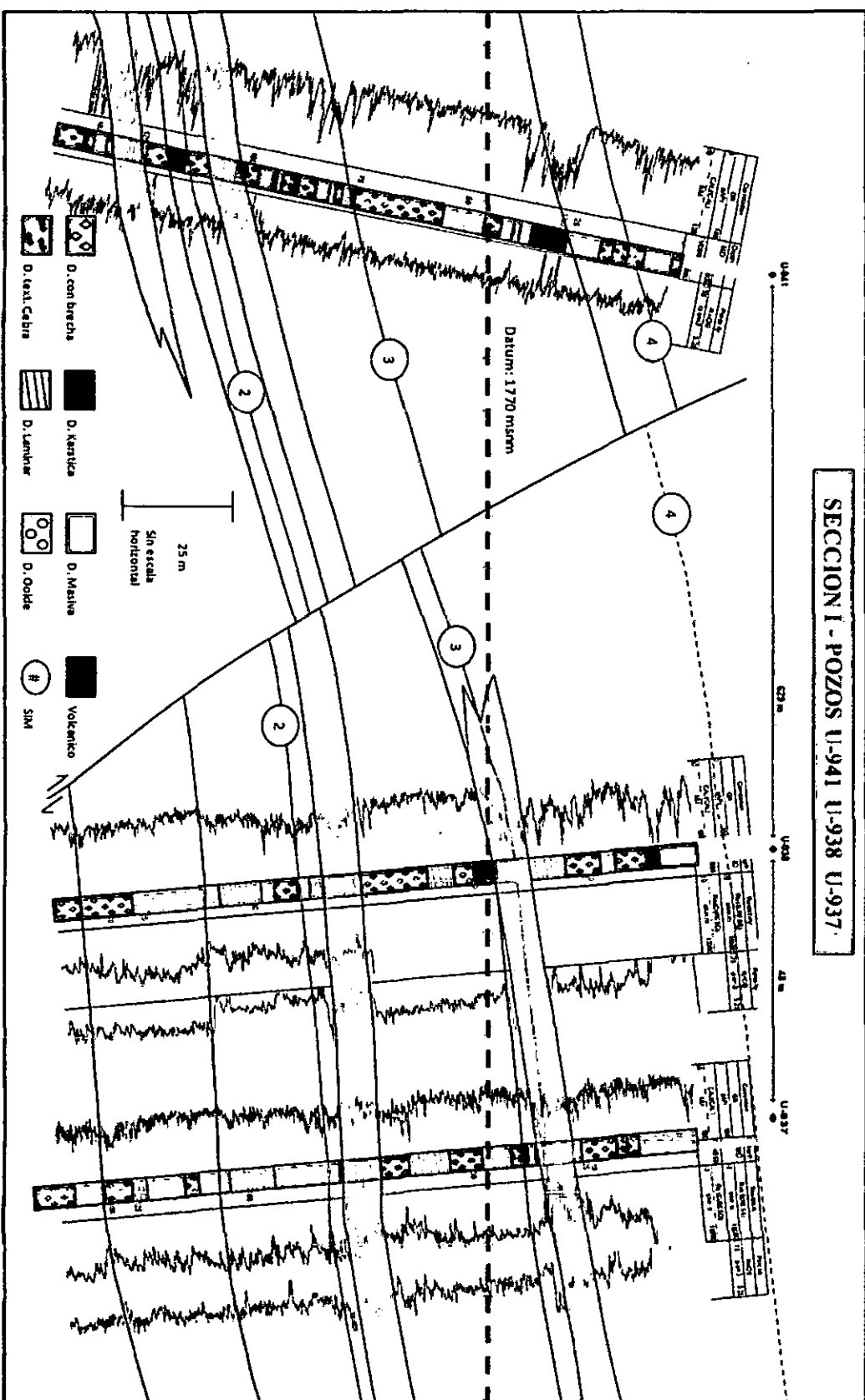


Figura 8.1. Sección Estructural de la Zona Mineralizada

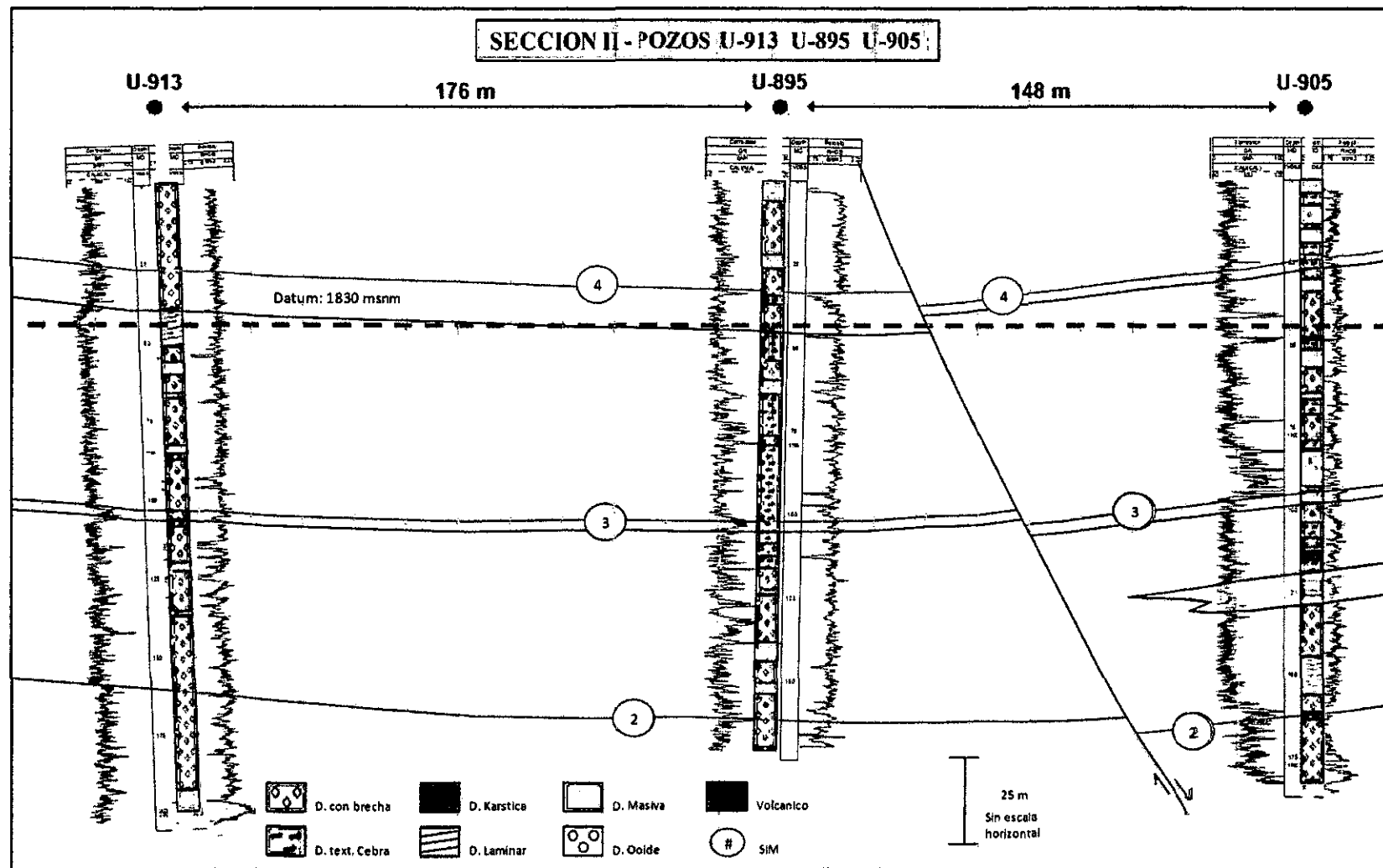


Figura 8.2. Sección Estructural de la Zona No Mineralizada

CONCLUSIONES

- Los registros geológicos de pozo pueden y deben ser calibrados con el logueo geológico para constituir una database integral en la que se puede utilizar los conceptos modernos de interpretación aplicados en la presente investigación.
- Existe una correlación directa entre la caracterización de las facies sedimentarias y la cantidad de radioactividad, ya que permite identificar la presencia de diques volcánicos donde estos fueron descritos. Además indican claramente las superficies estratigráficas claves como son la superficie transgresiva y la superficie de inundación máxima. Los valores altos de radioactividad corresponden al predominio de facies de caliza bituminosa y pares de calizas ricas y pobres en materia orgánica (couplets), así como dolomitas laminadas con mayor cantidad de fluido mineralizante. Así también los valores bajos de radioactividad indican facies de dolomitas ooides con buenas características petrofísicas. Por lo tanto las asociaciones de facies grainstone-packstones son menos radioactivas que las asociaciones packstones-wackstones.
- El registro de densidad ha demostrado ser capaz de identificar los sulfuros debido a su alta densidad y las zonas de kartsismo por su baja densidad.
- El registro de resistividad identificó la presencia de la esfalerita dentro de los sulfuros conductivos debido a su alta resistividad.
- Las superficies de inundación máxima señalan el inicio del sistema estratigráfico Highstand que es de somerización, por lo cual la parte inferior de los sistemas Highstand 2 y Highstand 3 se han encontrado las mejores condiciones para la

producción de carbonatos depositándose minerales esfalerita-galena-pirita en el primer caso y pirita en el segundo caso debido a la mayor profundidad de agua en el sistema correspondiente.

- La ubicación de los seis pozos estudiados sugieren la formación de bancos de plataforma en los tiempos de la formación de los sistemas Highstand 2 y Highstand 3, de orientación W-E que interceptó a los pozos U-937, U-938 y U-941 y no interceptó a los pozos U-905, U-895 y U-913.
- Las zonas mineralizadas en los gráficos de Cross-Plots están representadas por la mayor densidad de datos de formas elipsoidales con ejes sub-horizontales hacia valores muy elevados de densidad y valores medios de radioactividad. La topografía kárstica y presencia de dolomita craquelada se identifican claramente en los gráficos estadísticos con valores de densidad muy bajos de hasta 2.5 gr/cm^3 .

RECOMENDACIONES

- El uso de los Registros eléctricos en la identificación y caracterización de zonas mineralizadas, ha demostrado ser una herramienta útil, por lo que se sugiere perforar y registrar con Gamma Ray, Resistividad y Densidad en los pozos para la identificación y orientar los bancos de plataforma que guíen la explotación del área.
- Integrar las superficies de inundación máxima (SIM), aplicando los principios de estratigrafía de secuencia al modelo geológico del Yacimiento Uncush Sur de la Mina San Vicente.
- Calibrar los registros eléctricos con la roca en otras áreas para entender las características de facies y estructuras geológicas que controlan y forman las trampas mineralizadas, y así tener una herramienta de exploración con poder predictivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahr, W. M. (2008). *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*.
- Beales, F.W. (1975). *Precipitation mechanisms for Mississippi Valley-type deposits*: Econ, Geol. v. 70. pp. 943-948.
- Brown, L. F. Jr., and Fisher, W. L. (1977). *Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull apart basins*. In *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration* (C. E. Payton, Ed.), pp. 213–248. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26.
- Catuneanu, O. (2002). *Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls*.
- Catuneanu, O. (2006). *Principles of Sequence Stratigraphy*.
- Catuneanu, O., Galloway, W.E., et al. (2011). *Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature*, Newsletters on Stratigraphy, v. 44/3, pp. 173-245.
- Dávila, D., Fontboté, L., Febres, O., & Oldham, L. (2000). *Exploración y geología del yacimiento San Vicente*. I Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores. Primer volumen de monografías de yacimientos minerales peruanos: historia, exploración y geología. Inst. Ing. Minas, Lima, pp. 305-328.
- Galloway, W.E., (1989a), *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounding depositional units*,

- American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin, v. 73, pp.125- 142.
- Galloway, W.E. (1989b). *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis II: applications to northwest Gulf of Mexico Cenozoic*, American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin, v. 73, 143-174.
 - Kendall, S.G.St.C., and Schlager, W. (1981). *Carbonates and relative changes in sea level*, *Marine Geology*, Vol. 44, pp.181, 212.
 - Kilian, R. (2005). *Structural Geology and Implications for Zn-Pb Mineralization and the Formation of Rhythmic Dolomite Veins (Zebra Dolostone) in the San Vicente Mine, Central Peru*. Tesis Diplomarbeit. Johannes Gutenberg - Universität. pp. 108.
 - Kisvarsanyi, Geva, Grant, S.K., Pratt, W.P., and Koenig, J.W., eds. (1983). *Proceedings of International Conference on Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits: Rolla, University of Missouri*, pp. 603.
 - Leach, D.L., Sangster, D.F., et al. (2005), *Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective*: Society of Economic Geologists, Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume, 1905–2005, pp. 561–607.
 - Leach, D., Taylor, R., Fey, D., Diehl, Sh. and Saltus, R. (2010). *A Deposit Model for Mississippi Valley Type Lead-Zinc Ores, Chapter A of Mineral Deposits Models for Resource Assessment*, U.S. Geological Survey, Denver CO.
 - Loza, M. y Rodriguez, R. (2013). *Estudio estructural de la Mina San Vicente*
 - Lucia, F.J. (2007). *Carbonate Reservoir Characterization*.

- Mitchum, R. M., Vail, P.R. and Thompson, S. (1977). *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis.*
- Mitchum, R. M., Sangree, J. B., Vail P. R., Wornardt, W. W. (1993). *Recognizing Sequences and Systems Tracts from Well Logs, Seismic Data, and Biostratigraphy: Examples from the Late Cenozoic of the Gulf of Mexico.*
- Moore, C. (2001). *Developments in Sedimentology*, Vol 55, Capítulo I: The Nature of the carbonate depositional system y Capítulo II: Concepts of sequence stratigraphy as applied to carbonate depositional systems. pp. 1-36.
- Ohle, E.L. (1959). *Some considerations in determining the origin of ore deposits of the Mississippi Valley-Type. Part I: Economic Geology*, v. 54, pp. 769–789.
- Posamentier, H. W, Jervey, M. T. and Vail, P. R. (1988). *Eustatic controls on clastic deposition - Parte I - Conceptual framework - Sequence and Systems Tract models.*
- Posamentier, H. W., Jervey, M. T. and Vail, P. R. (1988). *Eustatic controls on clastic deposition - Parte II - Sequence and Systems Tract models.*
- Rider, M. (1996). *The geological interpretation of well logs. Second Edition.*
- Sarg, J.F. (1988). *Carbonate Sequence Stratigraphy*, En: Wilgus, Ch.K. et al.: *Sea-Level Changes-An Integrated Approach*, SEPM Special Publication No. 42.
- Schlager, W. (2005). *Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy - Faculty of Earth and Life Sciences Amsterdam, Netherlands.*

- Stoakes, F.A. (1980). Nature and control of shale basin fill and its effect on reef growth and termination: Upper Devonian Duvernay and Ireton Formations of Alberta, Canada. pp. 345-410.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M., and Thompson, S. III (1977a). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 4, global cycles of relative changes of sea level*. In: *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*, C. E. Payton (Ed.). AAPG Memoir No. 26, Tulsa, OK, pp. 63- 81.
- Van Wagoner, J.C. (1985). *Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change: Abstract and Poster Session, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists Mid-Year Meeting, Golden, Colorado*, pp. 91-92.
- Van Wagoner, et al. (1988). *Sea-Level Changes-An Integrated Approach*, *SEPM Special Publication No.42*.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sarg, J. F., Loutit, T. S. and Hardenbol, J. (1988). *An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions*. En Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C., eds., *Sea-level changes: an integrated approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 42, pp. 39-45.
- Van Wagoner, R.M., Mitchum, K.M., Campion, and Rahmanian, V.D. (1990). *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*.
- Vásquez, M. (1999). *Estudio paleogeográfico del paleozoico en las cuencas subandinas*.

- Viera, A.F, J. Chung Ching, and Blanco, S. (2003). *Evolución tectosedimentaria y Arquitectura estratigráfica de los principales reservorios del área Camisea, Cuenca Ucayali, Oriente del Perú.*
- Walker, R. (1992). *Facies, facies models and modern stratigraphic concepts.* In: Walker, R., James, N. (Eds.), *Facies models: response to sea-level changes.* Geological Association of Canada, p.1-14.
- Wilgus, Ch.K., Hastings, B., Kendall, Ch. G., Posamentier, H.W., Ross, Ch. A. and Van Wagoner, J.C. (Eds). (1988). *Sea-Level Changes: An Integrated Approach,* Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 42, Tulsa, USA.

ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-895

SONDAJE U - 895 (0 m - 212.9 m)																	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10			11	12	13		
Estrato	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Contacto base	Fluido Mineralizante			Asociación de Facies	Sub-ambiente	Nota		
	Desde	Hasta								Cantidad	Matriz (%)						
											WSD	GSD					
1	0.00	4.25	4.25	oD	molD	o	M - F	N4		W1	90	10	Pckst-Wckst Ooide	PLANICIE	Laminación planar		
2	4.25	4.40	0.15	D	molD	o	M - F	N4		W0							
3	4.40	6.10	1.70	D	moxD	o	M - F	N4	V	W1	100					A 6.0m, 2 pseudomorfos, color blanco (anhidrita?) PLAN. COST.	
4	6.10	6.25	0.15	D	molD	o	M	N4		W0							
5	6.25	8.70	2.45	bD	obID	b	M	N4	VV	W2	100		Pckst ooide laminado			Clastos rip-up en la base, brecha en la base, lam. planar al tope	
6	8.70	8.80	0.10	D	miD	o	M	N4	V	W0							
7	8.80	12.70	3.90	bD	obkD	b	M	N4	V	W3	80	20				Color marrón claro, karstismo pervasivo	
8	12.70	13.00	0.30	D	molD	o	M	N4		W0							
9	13.00	16.40	3.40	bD	obD	b, b'	M	N4	--	W3	100						
10	16.40	16.70	0.30	D	mokD	o	M	N4		W0							
11	16.70	19.20	2.50	bD	obkD	b	M	N4	--	W2	90	10					
12	19.20	19.30	0.10	D	moaD	a / f	M - F	N4		W0			Pckst brechoidal	PLATAFORMA INTERNA			
13	19.30	25.30	6.00	bD	obkD	b	M	N4	--	W2	70	30					
14	25.30	25.45	0.15	D	molD	o	M - F	N5		W0							
15	25.45	29.60	4.15	bD	obkD	b	M - F	N4	--	W1	90	10				Color marron por partes	
16	29.60	29.70	0.10	D	ID	I	M	N4		W0							
17	29.70	38.90	9.20	b'D	mob'D	b'	M - F	N3		W1	100					Triturado	
18	38.90	39.00	0.10	ID	ID	I	F	N4	V	W3	90	10			PLATAFORMA	Fina laminación planar	
19	39.00	45.10	6.10	bD	mobD	b	M - F	N4		W2	90	10					
20	45.10	45.40	0.30	D	moc'D	o	M - F	N4		W1	100						
21	45.40	46.80	1.40	bD	mobD	b	M	N4	V	W2	90	10	Wckst-Pckst				
22	46.80	47.05	0.25	D	mocD	o	M	N4	V	W3	90	10					
23	47.05	50.90	3.85	bD	mobD	b	M	N4		W3	90	10					
24	50.90	51.55	0.65	D	mc'D		M - F	N4	V	W2	90	10					
25	51.55	52.30	0.75	D	mckD		M - F	N4		W4	80	20					

25	51.55	52.30	0.75	D	mckD		M - F	N4		W4	80	20	Wckst-Pckst	PLATAFORMA	
26	52.30	53.00	0.70	bD	mbD	b	M - F	N4	--	W3	100				
27	53.00	53.25	0.25	D	ockD	o	M	N4		W5	100				
28	53.25	61.00	7.75	bD	obwkD	b	M - F	N4	--	W3	90	10			
29	61.00	62.70	1.70	D	moxwD	o	M - F	N4	VV	W0					Grís claro
30	62.70	67.00	4.30	oD	obkD	o	M - F	N4		W3	90	10			
31	67.00	73.20	6.20	D	mc'wkD		M	N4	--	W2	80	20	Pckst		
32	73.20	73.50	0.30	D	mlwD		M	N4		W1	80	20			Laminacion paralela claro - oscura
33	73.50	80.70	7.20	D	mowkD	o	M-F	N5	--	W1	100				
34	80.70	86.40	5.70	mD	moc'kD	m	M	N5	--	W1	100				Cambio de colorr de grís claro a grís blanquecino
35	86.40	88.10	1.70	D	mowkD	o	M - F	N4		W1	100				
36	88.10	95.90	7.80	oD	moc'kD	o,c'	M	N4		W2	100				
37	95.90	97.30	1.40	oD	mowkD	o,k	M	N4		W3	100				
38	97.30	100.30	3.00	oD	moc'kD	o	G	N4	V	W2	100				
39	100.30	103.20	2.90	D	mowD	o	M	N4		W2	100				
40	103.20	104.00	0.80	D	mlxD	l,x	M-F	N3	V	W0			Mdst-Wckst	PLATAFORMA INTERNA	Alternancia de couplets con rip-up (undinatura) de carbonato
41	104.00	105.20	1.20	bD	obwkD	b	M	N4		W2	90	10			
42	105.20	105.50	0.30	C	xC	x	F	N4	VV	W0			Grst		
43	105.50	107.50	2.00	D	mc'kD		M	N4		W1	100				
44	107.50	109.00	1.50	bD	obwkD	b	M	N4	V	W2	100				
45	109.00	109.40	0.40	xD	mxxD	x	M-F	N4		W1	100				
46	109.40	112.50	3.10	b'D	mb'wD	b'	M-G	N4	V	W1	100				
47	112.50	112.70	0.20	lD	lxD	l	M-F	N4	V	W1	100		Wckst subaéreo		Laminaciones finas de capas lenticulares
48	112.70	113.00	0.30	D	mc'D		M	N4		W1	100				
49	113.00	114.00	1.00	C	mkC		F-M	N4	V	W5	90	10	Wckst-Pckst		Caliza blanca karstificada
50	114.00	116.70	2.70	D	mc'D		M	N4	--	W1	100				
51	116.70	120.20	3.50	bD	bwD	b	M	N4		W2	100				
52	120.20	120.40	0.20	oD	oxkD		M	N4	--	W1	100				
53	120.40	122.60	2.20	bD	mbwD	b	M	N4		W1	100				
54	122.60	124.35	1.75	lD	mlxD	l	F-M	N4	V	W0					Couplets
55	122.70	125.20	2.50	D	moc'D	o	F-M	N4	--	W2	90	10	Grst-Pckst		Dolomita fina
56	125.20	130.60	5.40	bD	mobD	b	M	N4	V	W3	90	10			

57	130.60	133.40	2.80	D	pwkD		F	N4		W5	100		Wckst	PLATAFORMA INTERNA	Cristales romboedricos de dolomita / Geoda. 1m de dolomita ne	
58	133.40	138.20	4.80	bD	bwD	b	M	N4	--	W3	90	10				
59	138.20	143.80	5.60	oD	moc'D	o	M	N3		W2	100		Wckst-Pckst			
60	143.80	153.00	9.20	bD	bwD	b	M	N3	--	W2	100					
61	153.00	154.20	1.20	oD	moc'D	o	M - F	N4		W2	100					
62	154.20	160.00	5.80	pD	pbwD	b	F	N3		W1	100				Fracturado y craquelado	
63	160.00	160.20	0.20	xC	mxwC	x,w	MF	N2	V	W0			Wckst peloides			Pares de caliza ricas y pobres en materia orgánica (couplets)
64	160.20	162.40	2.20	C	nC		F	N1		W2	90	10				Caliza bituminosa, couplets
65	162.40	162.70	0.30	ID	olxD	l,x	F	N4	--	W2	100					Pares de caliza ricas y pobres en materia orgánica (couplets)
66	162.70	164.70	2.00	oD	owD	b	M-F	N2	--	W2	100					
67	164.70	174.20	9.50	bD	obwD	b	M	N4	VV	W2	100		Pckst brecholde	PLATAFORMA EXTERNA		
68	174.20	178.40	4.20	bD	mbwD	b	F	N5	--	W3	100					Geoda blanca con halos de alteracion a dol. rosada en la perifer
69	178.40	180.00	1.60	D	mwaD		M - F	N2	VV	W3	100					Abundancia de algas, posible profundidad de agua 10-20m
70	180.00	195.50	15.50	bD	mbkD	b	M - F	N2		W3	80	20				
71	195.50	197.60	2.10	bD	mbwD	b	M - F	N3	V	W1	100					
72	197.60	205.50	7.90	D	mwkD		M - F	N5	--	W2	100					Geoda
73	205.50	210.50	5.00	bD	mbwD	b	M - F	N2	V	W2	90	10				Nódulos de chert
74	210.50	212.90	2.40	bC	mC		MF	N4		W0			Mudst			Mudstone / Lodolita calcarea

ANEXO 2. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-905

SONDAJE U - 905 (0 m - 187.45 m)														
1	2		3	4	5	6	7	8	9			10	11	12
Estrato	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Fluido Mineralizante			Asociacion de Facies	Sub-ambiente	Nota
	Desde	Hasta							Cantidad	Matriz (%)				
										WSD	GSD			
1	0.00	4.00	4.00	oD	mowD	o	M	N3	W1	90	10	Pckst	PLANICIE	
2	4.00	7.70	3.70	bD	mbD	b	F	N2	W0					
3	7.70	13.45	5.75	b'D	mob'D	o, b'	M - F	N4	W0					Roca intensamente fracturada (craquelada)
4	13.45	14.95	1.50	b'D	mb'D	b'	F - M	N4	W1	100				Roca intensamente fracturada (craquelada)
5	14.95	19.20	4.25	oD	mowD	o	F - M	N3	W0					
6	19.20	23.95	4.75	b'D	mb'D	b'	F	N2	W0					Roca intensamente fracturada (craquelada)
7	23.95	26.70	2.75	b'D	mb'D	b'	F	N4	W1	100		Pckst	PLATAFORMA INTERNA	Roca intensamente fracturada con menos de 2% de caliza bituminosa en las fracturas
8	26.70	29.95	3.25	bD	mobD	o, b	M	N4	W2	100				
9	29.95	33.50	3.55	lD	mold	o, l	M	N4	W0					Matriz con habito laminar paralelo a la direccion del taladro. Ind. de sondaje: 1°
10	33.50	40.45	6.95	bD	mobD	o, b	F - M	N3	W2	90	10	Wckst-Pckst	PLATAFORMA EXTERNA	
11	40.45	41.70	1.25	bD	mbD	b	M - G	N4	W1	100				Intrusion volcanica con sph diseminada menor a 1%
12	41.70	47.40	5.70	bD	mbD	b	F - M	N3	W2	100				Matriz con habito laminar
13	47.40	48.20	0.80	V	m		F	N4	W0					Roca volcanica
14	48.20	51.40	3.20	b'D	mb'wD	b'	M - F	N3	W2	100				Roca intensamente fracturado (craquelada)
15	51.40	56.60	5.20	oD	mowD	o	M - F	N3	W0					
16	56.60	64.60	8.00	bD	mbD	b	F - M	N3	W2	100				Roca intensamente fracturada
17	64.60	66.30	1.70	oD	mowD	o	M	N4	W1	100				
18	66.30	68.60	2.30	D	mcD	c	M - G	N4	W3	90	10			Sph diseminada menor a 2%
19	68.60	70.90	2.30	D	mc'wD	c'	M - G	N4	W1	100				
20	70.90	78.90	8.00	bD	mbwD	b	F	N2	W2	80	20			
21	78.90	81.40	2.50	D	mcD	c	M - G	N4	W3	100				Sph diseminada menor a 1%
22	81.40	81.90	0.50	V	m		F	N4	W0					Roca volcanica
23	81.90	92.80	10.90	oD	mowD	o	M - F	N4	W1	100				Presenta venas gruesas de roca volcanica
24	92.80	94.20	1.40	V	m		F	N4	W0			Wckst-Pckst	PLATAFORMA INTERNA	Roca volcanica
25	94.20	97.70	3.50	oD	mowD	o	M - G	N4	W1	100				

26	97.70	103.70	6.00	bD	mbwD	b	F - G	N3	W2	90	10	Wckst-Pckst	PLATAFORMA INTERNA	
27	103.70	108.40	4.70	D	mc'D	c'	M	N4	W1	100				
28	108.40	110.95	2.55	bD	mbD	b	M - F	N4	W2	100				
29	110.95	112.20	1.25	oD	mowD	o	M - F	N4	W0					
30	112.20	113.50	1.30	D	mc'D	c'	M	N4	W0					
31	113.50	114.70	1.20	fD	mlD	m, l	F - M	N2	W0				PLATAFORMA EXTERNA	
32	114.70	118.45	3.75	D	mcD	c	M	N4	W3	100				Sph diseminada menor a 1%
33	118.45	121.45	3.00	bD	mbD	b	M - F	N4	W1	90	10			
34	121.45	124.00	2.55	D	mcD	c	M	N4	W3	100				Sph diseminada menor a 1%
35	124.00	125.70	1.70	bD	mbD	b	M	N4	W2	100				
36	125.70	128.40	2.70	D	mcD	c	M - G	N4	W3	100				Sph diseminada menor a 1%
37	128.40	144.20	15.80	bD	mbwD	b	F - M	N4	W1	100				
38	144.20	155.95	11.75	lD	mlD	m, l	F - M	N3	W2	90	10			
39	155.95	160.20	4.25	bD	mbwD	b	M	N4	W2	100		Pckst	PLATAFORMA EXTERNA	Matriz con habito laminar
40	160.20	163.20	3.00	b'D	mob'D	o, b'	F	N2	W1	80	20			Roca Intensamente fracturada (craquelada)
41	163.20	182.30	19.10	bD	mbwD	b	F	N3	W1	90	10			
42	182.30	187.45	5.15	nC	m		F	N1	W0					

ANEXO 3. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-913

SONDAJE U - 913 (0 m - 227.9 m)															
1	2		3	4	5	6	7	8	9			10	11	12	
Estrato	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Fluido Mineralizante			Asociación de Facies	Sub-ambiente	Nota	
	Desde	Hasta							Cantidad	Matriz (%)					
										WSD	GSD				
1	0.00	6.00	6.00	oD	mobwD	o, b	F - M	N3	W2	90	10	Pckst-Wckst	PLATAFORMA		
2	6.00	7.30	1.30	oD	mowD	o	F - M	N3	W2	90	10				
3	7.30	7.40	0.10	bD	mob'D	o, b'	F - M	N3	W3	100					
4	7.40	8.80	1.40	D	mxwD	x	F	N3	W1	100			PLATAFORMA INTERNA		
5	8.80	8.95	0.15	bD	mob'D	o, b'	F - M	N4	W2	80	20				
6	8.95	10.30	1.35	oD	mowD	o	F - M	N3	W1	100					
7	10.30	10.40	0.10	D	mowD	o	F - M	N6	W5	100					
8	10.40	12.50	2.10	bD	mob'wD	o, b'	F	N3	W1	100					
9	12.50	29.00	16.50	bD	mob'wD	o, b'	F	N3	W1	100					
10	29.00	29.10	0.10	D	mawD	a	F	N3	W0			Pckst-Wckst	PLATAFORMA		
11	29.10	31.80	2.70	bD	mob'wD	o, b'	F	N3	W2	100					
12	31.80	32.10	0.30	nC	mnC		MF	N2	W0						
13	32.10	39.90	7.80	bD	mob'wD	o, b'	F	N3	W2	100					
14	39.90	51.70	11.80	D	mxwD	x	F - M	N3	W1	100					
15	51.70	56.70	5.00	bD	mbD	b	F - M	N3	W1	100		Pckst		PLATAFORMA	
16	56.70	60.80	4.10	oD	mowD	o	M - F	N4	W1	100					
17	60.80	66.70	5.90	bD	mbD	b	F - M	N3	W2	100					
18	66.70	68.00	1.30	D	mxwD	x	F - M	N3	W0						
19	68.00	83.40	15.40	bD	mbD	b	M - F	N4	W2	100					
20	83.40	85.70	2.30	oD	mowD	o	M	N4	W1	100					
21	85.70	86.00	0.30	D	mxwD	x	M - F	N4	W0						
22	86.00	86.30	0.30	bD	mobD	o	M - F	N4	W3	90	10				
23	86.30	87.50	1.20	D	mc'wD	o, c'	M - F	N4	W2	90	10				

24	87.50	107.10	19.60	bD	mbD	b	M - F	N4	W2	100		Pckst	PLATAFORMA		
25	107.10	109.20	2.10	D	mc'wD	o, c'	M	N4	W1	100				Wckst-Pckst	
26	109.20	120.50	11.30	bD	mbD	b	M - G	N4	W2	90	10				
27	120.50	123.00	2.50	oD	mowD	o	M	N4	W0						
28	123.00	136.20	13.20	bD	mobwD	o, b	F - M	N5	W1	90	10				Fracturado y craquelado
29	136.20	137.70	1.50	D	moc'D	o, c'	M - F	N4	W1	100		Muy fracturado			
30	137.70	193.30	55.60	bD	mobwD	a, b	M - G	N4	W2	90	10	Grst			
31	193.30	202.40	9.10	oD	mowD	o	F - M	N3	W1	100		Pckst		PLATAFORMA EXTERNA	
32	202.40	214.10	11.70	bD	mobD	o, b	M	N4	W2	100					
33	214.10	218.40	4.30	oD	mowD	o	F - M	N4	W1	100					
34	218.40	221.00	2.60	D	mowD	o	F - M	N4	W0						
35	221.00	227.90	6.90	bD	mobwD	o, b	F - M	N4	w2	90	10				

ANEXO 4. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-937

SONDAJE U - 937 (0 m - 322.5 m)														
1	2		3	4	5	6	7	8	9			10	11	12
Estrato	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Fluido Mineralizante			Asociacion de Facies	Sub-ambiente	Nota
	Desde	Hasta							Cantidad	Matriz (%)				
										WSD	GSD			
1	0.00	9.20	9.20	oD	owkD	o, k	M - G	N4	W0			Wckst-Pckst	PLANICIE	
2	9.20	13.10	3.90	oD	owD	o, w	M - F	N4	W0					
3	13.10	15.70	2.60	bD	bD	o	M - F	N4	W1	100				
4	15.70	21.80	6.10	bD	b'wD	b', w	F - M	N2	W1	100				
5	21.80	26.00	4.20	bD	bD	b	M	N4	W2	100			BANCO DE PLATAFORMA	Pymenor a +- 2%
6	26.00	34.50	8.50	lD	mlwD	m, l	F	N2	W1	100				Pyde 3 a 8%
7	34.50	36.30	1.80	bD	bkD	b, k	F - M	N4	W2	100				
8	36.30	37.80	1.50	oD	owD	o	M	N4	W0					
9	37.80	38.70	0.90	bD	bD	b	M - G	N4	W2	100		Pckst-Wckst	PLATAFORMA	
10	38.70	41.60	2.90	D	odD	c	M - G	N4	W3	100				Sph rubia diseminada menor de 1%
11	41.60	48.00	6.40	oD	owD	o	M - F	N3	W2	70	30			
12	48.00	53.50	5.50	bD	bwD	b	F	N3	W3	100				Sph rubia diseminada menor de 0.5%
13	53.50	55.50	2.00	bD	bwD	b	F	N2	W1	100				
14	55.50	64.50	9.00	lD	mlwD	m, l	F	N2	W0					
15	64.50	67.00	2.50	bD	obD	b	M	N3	W2	100				Pymenor a +- 2%
16	67.00	68.80	1.80	bD	bwD	b	M - F	N3	W2	100				Galena diseminada
17	68.80	70.50	1.70	bD	bkD	b, k	M - G	N4	W2	100		Pckst-Grst	BANCO DE PLATAFORMA	
18	70.50	71.20	0.70	bD	bD	b	M - G	N4	W3	100				Sph diseminada de 0.5% (Mineral matrix breccia)
19	71.20	73.10	1.90	D	cd	c	M - G	N4	W3	100				Sph rubia y gris de 13%
20	73.10	75.00	1.90	oD	owD	o	M - G	N4	W1	60	40			Sph diseminada de 3%
21	75.00	76.50	1.50	D	cwD	c	M - G	N4	W4	100				Sph rubia de 24%
22	76.50	77.20	0.70	oD	owD	o	M - G	N4	W1	70	30			Puntos de Sph
23	77.20	80.20	3.00	D	cwD	c	M - G	N4	W3	80	20			Sph de 3 a 23%
24	80.20	81.90	1.70	oD	owD	o	M - F	N4	W0					
25	81.90	82.50	0.60	oD	owD	o	M	N4	W2	60	40	PENDIENTE DE PLATAFORMA	Intervalo estari	
26	82.50	94.80	12.30	oD	owD	o	F - M	N4	W2	60	40		Sph de 2%	
27	94.80	102.70	7.90	lD	mlwD	m, l	F - M	N3	W1	100				

28	102.70	104.70	2.00	lD	mlfD	l, f	F	N2	W0			Wckst-Pckst	PENDIENTE DE PLATAFORMA	Nivel fosilifero
29	104.70	111.80	7.10	oD	owD	o	M - F	N3	W1	100				
30	111.80	114.90	3.10	bD	b'wD	b', w	M - F	N3	W1	100				
31	114.90	121.60	6.70	oD	owD	o	M	N3	W1	100				
32	121.60	123.40	1.80	oD	ofD	o, f	M - F	N3	W0					Nivel fosilifero
33	123.40	126.80	3.40	lD	mlwD	m, l	F - M	N3	W2	100				
34	126.80	133.00	6.20	bD	b'wD	b'	F - M	N3	W2	100				Roca craquelada (fallamiento)

ANEXO 5. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-938

SONDAJE U - 938 (0 m - 269.6 m)														
Intervalo	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Fluido Mineralizante			Asociación de Facies	Sub-ambiente	Nota
	Desde	Hasta							Cantidad	Matriz (%)				
										WSD	GSD			
1	0.00	4.10	4.10	D	mowD	o	F	N4	W0			Wckst	P L A N I C I E	
2	4.10	8.90	4.80	C	mC		F	N3	W0					Caliza gris arcillosa
3	8.90	11.70	2.80	C	mkC		F	N4	W0					Caliza gris karstificada
4	11.70	15.00	3.30	D	mowC		F	N3	W0					
5	15.00	20.00	5.00	bD	obwD		G	N4	W2	100		Grst		
6	20.00	23.00	3.00	obD	obD	o	M - F	N4	W1	100		Wckst-Pckst		
7	23.00	24.20	1.20	D	oaD	o / a	F-M	N4	W1	100				Polipos de Medusa?
8	24.20	30.00	5.80	bD	obwD	o, b	M	N3	W2	100				De 22m a 25m trazas de Sph
9	30.00	39.00	9.00	kD	okD	o,k	F							
10	39.00	42.00	3.00	D	oxkD	o, x	F	N2	W1	100		Pckst-Wckst	BANCO DE PLATAFORMA	Con color marron en partes, trazas de Py
11	42.00	46.00	4.00	bD	mobwD	o, b	M	N4	W2	60	40		PLATAFORMA	
12	46.00	51.00	5.00	oD	mokD	o, k	M - G	N4	W0					
13	51.00	56.00	5.00	bD	obwD	o, b	F - M	N3	W1	100				
14	56.00	61.80	5.80	D	moxkD	o, x	F - M	N3	W1	100				
15	61.80	73.70	11.90	bD	mobwD	o, b	M - F	N4	W2	100				
16	73.70	77.90	4.20	bD	obD	o, b	M	N4	W3	60	40	Pckst-Grst	BANCO DE PLATAFORMA	Trazas de Sph y Py (Ligero cambio de facies)
17	77.90	78.80	0.90	bD	obD	o, b	M - F	N4	W3	60	40			Sph> 4% (Mineral Matrix Breccia)
18	78.80	79.70	0.90	oD	mowD	o	M - G	N4	W1	100				Intervalo estéril
19	79.70	80.40	0.70	oD	mowD	o	M	N4	W2	100				Sph< 1%
20	80.40	81.20	0.80	oD	mowD	o	M	N4	W1	100				Intervalo estéril
21	81.20	82.40	1.20	bD	obkD	o, b	M - G	N4	W3	90	50			Sph ~ 6%
22	82.40	83.20	0.80	oD	mokD	o	M	N4	W1	100				Intervalo estéril
23	83.20	85.60	2.40	oD	mobkD	o, b	M - G	N4	W3	90	50			Sph 2% - 8%, esfalerita rubia bordea el fluido mineralizante
24	85.60	89.50	3.90	D	mowD	o	F - M	N3	W1	100		Wckst-Pckst	PENDIENTE DE PLATAFORMA	
25	89.50	91.70	2.20	oD	mowD	o	F - M	N3	W1	100				
26	91.70	97.10	5.40	bD	obD	o, b	F - M	N3	W1	100				

27	97.10	100.10	3.00	oD	mowD	o	M	N4	W0			Wckst-Pckst	PENDIENTE DE PLATAFORMA	Trazas de Py
28	100.10	109.80	9.70	D	moxwD	o, x	F - M	N4	W0					
29	109.80	113.00	3.20	oD	mowD	o	M	N4	W0					
30	113.00	114.50	1.50	xD	moxD	o, x	F - M	N4	W1	100				
31	114.50	122.60	8.10	oD	moD	o	M	N3	W0					
32	122.60	129.80	7.20	D	mowD	o	F - M	N3	W1	100		Pckst		
33	129.80	147.50	17.70	pD	bpD	p	F	N2	W1	100				Fracturado 129.80-138m, y triturado 138-147.5m. Color gris oscuro

ANEXO 6. DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO U-941

DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA - POZO U-941 (0 m - 205.5 m)															
1	2		3	4	5	6	7	8	9		10	11	12		
Estrato	Intervalo		Espesor (m)	Facies	Subfacies	Textura / Estruct. Predomin.	Granulom.	Color	Fluido Mineralizante		Asociación de Facies	Sub-ambiente	Nota		
	Desde	Hasta							Cantidad	Matriz (%)					
										WSD				GSD	
1	0.00	2.40	2.40	bD	mbD	b	F	N2	W2	90	10	Wkst	PENDIENTE		
2	2.40	8.80	6.40	lD	mlD	l	F	N2	W0						
3	8.80	12.80	4.00	bD	mbD	b	F - M	N3	W2	100					
4	12.80	16.00	3.20	D	cD	c	M	N4	W3	100					
5	16.00	27.00	11.00	oD	obwD	o, b	M - G	N4	W0			Grst			
6	27.00	35.20	8.20	v	mV		F	N4	W0			Wkst-Pckst		Dique volcanico	
7	35.20	37.70	2.50	bD	mbD	b	M - G	N4	W3	100					
8	37.70	39.30	1.60	v	mV		F	N4	W0					Dique volcanico	
9	39.30	42.10	2.80	oD	obwD	o, b	F - M	N4	W0						
10	42.10	46.20	4.10	bD	mbD	b	M - F	N4	W1	100		Wkst			
11	46.20	51.20	5.00	oD	obwD	o	M	N4	W0						
12	51.20	55.50	4.30	oD	ofD	o, f	M - F	N4	W1	100				Nivel folisifero	
13	55.50	76.00	20.50	bD	mbD	b	F - M	N3	W1	90	10	Pckst-Wkst		Dique volcanico	
14	76.00	76.50	0.50	v	mV		F	N4	W0						
15	76.50	79.10	2.60	oD	obwD	o	M	N4	W0						
16	79.10	80.70	1.60	bD	mbD	b	M	N4	W2	100				Presenta clastos de volcanico	
17	80.70	81.90	1.20	oD	obwD	o	M	N4	W0						
18	81.90	85.00	3.10	v	mV		F	N4	W0					Dique volcanico	
19	85.00	89.20	4.20	bD	mbD	b	M - F	N4	W3	100					
20	89.20	90.10	0.90	v	mV		F	N4	W0					Dique volcanico	
21	90.10	94.20	4.10	D	oc'D	o, c'	M	N4	W2	100					
22	94.20	95.20	1.00	v	mwV		F	N4	W0					Dique volcanico	
23	95.20	98.70	3.50	lD	mlwD	m, l	F - M	N3	W1	90	10	Pckst-Grst	BANCO DE PLATAFORMA		
24	98.70	101.60	2.90	bD	mbD	b	F - M	N4	W2	100					
25	101.60	104.10	2.50	v	mV		F	N4	W0					Dique volcanico con clastos de dolomita	
26	104.10	106.30	2.20	bD	mbD	b	M	N4	W3	100				Esferenta rubia diseminada de 0.4%. Presenta clastos de volcanico	
27	106.30	108.00	1.70	D	mc'wD	c'	M	N4	W2	100					
28	108.00	109.50	1.50	bD	bD	b	F - M	N4	W2	100			BANCO DE PLATAFORMA		
29	109.50	112.20	2.70	bD	mbD	b	M - G	N4	W3	100				Esferenta rubia diseminada +- 6%	

30	112.20	114.90	2.70	bD	bD	b	M	N4	W2	100		Pckst-Grst	PLATAFORMA	
31	114.90	119.20	4.30	V	bwV		F	N4	W0					Dique volcanico con clastos de dolomita
32	119.20	126.00	6.80	bD	obD	b	M - G	N4	W2	100			BANCO DE PLATAFORMA	
33	126.00	134.40	8.40	bD	obD	b	M - G	N4	W3	100				Esfalerita rubia diseminada de 0.1 - 6%
34	134.40	137.30	2.90	V	mwV		F	N4	W0			PENDIENTE		Dique volcanico
35	137.30	139.10	1.80	bD	bD	b	M	N4	W2	100				
36	139.10	139.50	0.40	V	mV		F	N4	W0	0				Dique volcanico
37	139.50	171.00	31.50	bD	obwD	b	M - G	N4	W2	100				Presencia de volcanico en algunos intervalos
38	171.00	173.60	2.60	lD	mlwD	l	F - M	N3	W1	90	10			
39	173.60	205.50	31.90	bD	obD	b	M	N4	W2	100				Matriz con habito laminar